

Tero Väisänen

REHEVÄN JÄRVEN
KUNNOSTUSMENETELMÄN VALINTA

Lisensiaatintyö, jonka aiheen Oulun yliopiston teknillinen tiedekunta on hyväksynyt
17.11.2003

Työn valvoja ja tarkastaja:
Professori Esko Lakso

Työn toinen tarkastaja:
Tekniikan tohtori Raimo Ihme

Osasto Prosessi- ja ympäristötekniikan osasto		Laboratorio Vesi- ja ympäristötekniikan laboratorio	
Tekijä Väisänen. Tero		Työn valvoja Lakso, E. professori	
Työn nimi Rehevän järven kunnostusmenetelmän valinta			
Oppiaine Ympäristötekniikka	Työn laji lisansiaatintyö	Aika Toukokuu, 2005	Sivumäärä 101s., 26 s., 7 liitettä
<p>Tiivistelmä</p> <p>Rehevän järven ongelmat ilmenevät usein järven virkistyskäyttöhaittoina. Niiden taustalla on järveen kohdistuva liiallinen kuormitus. Erityisesti järven sisäinen kuormitus, joka syntyy ravinteiden vapautuessa pohjasedimentistä veteen, lisää järven rehevöitymisen ongelmia kesällä parhaaseen virkistyskäyttöaikaan. Pohjasedimentissä tapahtuvat diffuusio, konvektiovirtaukset, resuspensio sekä bioturbaatio ovat keskeisiä sisäistä kuormitusta aiheuttavia mekanismeja.</p> <p>Rehevän järven kunnostamisen lähtökohtana on järven pohjasedimentin tilan ja ominaispiirteiden tunteminen. Näin voidaan kunnostustoimet kohdentaa siten, että valitut kunnostusmenetelmät sopivat kohteeseen. Rehevän järven kunnostamisessa saatetaan toimia myös järven luontaisen rehevöitymiskehityksen vastaisesti. Kunnostushankkeissa kannattaa edetä pienin askelin, ensin vähentää virkistyskäyttöä haittaavia tekijöitä ja sen jälkeen resurssien puitteissa minimoida sisäinen kuormitus. Myös ulkoisen kuormituksen vähentäminen järven kriittisen kuormitusrajan alle on tärkeää ja edellytys kunnostustoimien onnistumiselle.</p> <p>Realististen tavoitteiden asettaminen on keskeinen asia kunnostushankkeen käynnistämisessä. Tässä työssä kehitetty rehevän järven kunnostusmenetelmän asukaslähtöinen valintamenettely ohjaa kunnostuskohteen hallintaan, sopivan menetelmän valintaan ja tavoitteiden saavuttamiseen. Menettely ottaa huomioon järven luonto- ja ekologiset arvot sekä asukaslähtöiset näkökohdat kunnostushankkeen suunnittelussa. Kunnostusmenetelmät tulee arvioida järvikohtaisesti teknisin, taloudellisin sekä tarvittavan teknisen ylläpidon perustein, jolloin vain kohteeseen sopivat menetelmät otetaan mukaan jatkosuunnitteluun.</p> <p>Rokuan harjualueen rehevöityneiden järvien kunnostamismahdollisuudet ja -menetelmät on arvioitu kehitetyllä valintamenettelyllä. Järvet ovat pääsääntöisesti luontaisesti reheviä ja niillä on luonto- ja virkistyskäyttöarvoja. Alueen loma-asukkaat ovat esittäneet huolensa järvien nykykehityksensä ja osana tätä työtä on laadittu järvien kunnostamisen yleissuunnitelma.</p> <p>Kunnostussuunnitelmaan kuuluvien järvien, Leväsoppisen, Iso-Syväjärven, Lianjärven, Tulijärven, Kotalammen ja Kirvesjärven, kunnostamiseen soveltuvat hapetus ja ravintoketjukunnostus. Järvien alusvesi on ainakin kevättalvisin hapetonta ja kalasto särkivaltaista. Vesikasvien niittoa tarvitaan useimmilla järvillä, koska runsas vesikasvillisuus häiritsee virkistyskäyttöä. Lisäksi tehokalastuksen apajapaikat on raivattava liiasta vesikasvillisuudesta ja rantavedessä olevista puista. Leväsoppisessa, Tulijärven, Kotalammen ja Kirvesjärven fosforin kemiallinen saostus voi tietyin edellytyksin olla sopiva menetelmä. Samoin pienet ruoppaukset ovat aiheellisia rantojen siistimiseksi ja umpeenkasvaneiden vesialueiden palauttamiseksi Tulijärvellä ja Kotalammissa sekä erityisesti Kotasalmessa.</p>			
Säilytyspaikka Oulun yliopisto			
Muuta tietoa			

Department Department of Process and Environmental Engi-		Laboratory Water Resources and Environmental Engineering	
Author Väisänen, Tero		Supervisor Lakso, E. professor	
Name of the thesis Method selection procedure for restoration of eutrophic lakes			
Subject Environmental Engi-	Level of studies Licenciate Thesis	Date May 2005	Number of pages 101 p., 26 p., 7 appendi-
<p>Abstract</p> <p>The problems of an eutrophic lake often manifest themselves as a hindrance to recreational use. The reason behind these problems is the excess load directed at the lake. Especially the release of the nutrients from the bottom sediments into the water, internal load, increases the problems of eutrophication. Diffusion, convection currents, resuspension and bioturbation that occur in the bottom sediments are essential mechanisms causing for the internal load.</p> <p>The starting point for the restoration of an eutrophic lake is familiarity with the state and the special characteristics of the lake and its sediments. This enables the restoration actions to be directed in such a way that the chosen methods suit to the target lake. In restoring an eutrophic lake, the natural eutrophication process is reversed. In restoration projects, it is worth proceeding step by step: first the factors that impede recreational use are reduced, and then, within the resources, the internal load of the lake is minimized. In addition, reduction of the external load below the critical maximum permissible load is an important step and a prerequisite for a successful restoration.</p> <p>When starting a restoration project, it is important to set realistic goals. The resident-based selection procedure for a restoration method, that was specifically developed in this work, leads to control over the target lake, selection of an appropriate method and, eventually, reaching of the goals. The procedure also takes into consideration the natural and ecological value of the lake and the resident-based aspects in the planning procedure of the restoration project. Restoration methods should be evaluated according to technical, economical and maintenance-related criteria, to ensure that, only those methods that suit the target will be involved in further planning.</p> <p>The selection procedure has been used to evaluate restoration possibilities for the eutrophic lakes in the Rokua esker area. The lakes are mainly naturally eutrophic, and they have natural and recreational value. The holiday residents of the area have expressed their concern about the present development of the lakes, and as a part of this work, a general plan for restoring the lakes has been prepared.</p> <p>All the lakes belonging to the restoration plan, i.e. Lakes Leväsoppinen, Iso-Syväjärvi, Lianjärvi, Tulijärvi, Kotalampi and Kirvesjärvi, are suitable for oxidation and food chain restoration because the hypolimnion of the lakes, at least in the late winter, is anoxic and the fish are mainly roaches. Mowing of water plants is needed in most lakes because abundant aquatic vegetation impedes recreational use. Additionally, in food chain restoration the fishing areas have to be cleared from excessive vegetation and from large debris in the littoral areas. In Lakes Leväsoppinen, Tulijärvi, Kotalampi and Kirvesjärvi, chemical precipitation of phosphorus can, with certain conditions, be a suitable method. In Lakes Tulijärvi and Kotalampi, especially in Kotasalmi area, small-scale dredging is needed in order to clean the shorelines and to restore overgrown littoral areas.</p>			
Library location University of Oulu			
Additional information			

Alkusanat

Tähän työhön liittyviä tutkimuksia on tehty VTT:n vesi- ja ekotekniikkaryhmässä vuosina 1993-1998 ja vuodesta 1998 lähtien Pohjois-Pohjanmaan ympäristökeskuksen tutkimusosastolla eri tutkimus- ja kehityshankkeissa. Tämä lisensiaattityö on yhteenveto näistä eri hankkeista, joihin viitataan hankkeista valmistuneen kirjallisuuden välityksellä. Tämän vuoksi kirjallisuusluettelossa on myös julkaisemattomia raportteja ja työselityksiä.

Olen lähestynyt aihepiiriä laaja-alaisesti. Lähestymistavassa on mukana ainakin limnologiaa, ekologiaa, kemiaa, fysiikkaa ja insinöörیتietoa. Lähestymistapa johtuu oikeastaan niistä lukuisista keskusteluista ja joskus jopa väittelyistä, joita olen järvien kunnostamiseenkin liittyen käynyt FT Seppo Hellstenin (ekologia ja limnologia), FM Esa Junturan (biofysiikka), FM Mika Sarkkisen (kemia), FM Mirja Heikkisen (limnologia), Iktyonomi Mika Visurin (kalat ja kalastus), FM Satu M. Karjalaisen (geokemia), FM Juha Riihimäen (vesikasvit), FT Anu Liikasen (geokemia), FM Heikki Tanskasen (limnologia ja käytännön metsätalous), FM Jari T. Huttusen (geokemia ja tieteellinen kirjoittaminen), FT Marja Luotolan (prosessit ja laatu), Prof. Pertti Martikainen (geokemia), TkL Markku Virtasen (mittaukset), FT Kaisa Heikkisen (limnologia) sekä FK Pekka Sohlon[†] (matematiikka ja yhteiskunnalliset kysymykset) kanssa – Teille kaikille suuret kiitokset näkemyksistänne ja kasvattavista kommentteistänne. Mieltä lämmitteää kovin vielä Pekan kommentti: "Tero, sinun lampaasi – ainakaan kaikki – eivät enää ole mustia tällä saarella" vanhaa insinöörivitsiä muokaten.

Alkusysäys järvien kunnostamisen perusteiden tutkimiselle luotiin vaihtotyöskentelyjaksolla Alankomaiden ekologisessa instituutissa FT Seppo Hellstenin kanssa. Tämän mahdollisti prof. Heikki Aikivuoren tulevaisuuden visiointi vuonna 1993. Tältä perustalta työ jatkui prof. Markku Salusjärven avarakatseisuuden sekä prof. Mauno Rönkkömäen ja FM Anneli Ylitolosen kannustuksen myötä – Kiitokset Teille.

FM Hanna Halmeenpää (ent. Kuusela), FM Sannamaria Paakki, fil. yo Eeva Kauppila, insinööri (AMK) Arja Männikkö, Sinikka Karvonen (kaaviokuvat) ja Airi Heikkinen (karttakuvat); teille kiitos hyvästä ja sujuvasta yhteistyöstä Rehevien järvien kunnostus hankkeen (REHKU) aikana.

Samoin kiitos kaikille työkavereilleni kannustuksesta työni loppuunsaattamiseksi niin PPO:ssa, SYKEssä kuin Oulun yliopistollakin eli Ouluun muodostuneessa NorNet-yhteisössä.

Kiitokset ovat ansainneet myös työhön liittyneiden hankkeiden rahoittajat, erityisesti ympäristöministeriö REHKU hankkeen osalta.

Työtäni on ohjannut professori Esko Lakso ja tarkastanut dosentti Raimo Ihme. Heille kiitos rakentavista kommentteista ja hyvästä yhteistyöstä.

Perheelle kiitos tuesta ja kärsivällisyydestä.



Aamuhetki ennen näytteenottoa Ähtärinjärven rannalla kevättalvella 1999. Kuvassa vasemmalta Mika Visuri, Juha Riihimäki ja allekirjoittanut. Valokuva Seppo Hellsten.

Kempeleessä 18.5.2005

Tero Välsänen

Sisällysluettelo

1. Johdanto	7
1.1 Tausta	7
1.2 Työn tavoitteet ja rajaus	9
1.3 Työn toteutustapa	10
2. Rehevän järven kunnostamisen limnologiset perusteet ja reunaehdot	11
2.1. Rehevän järven erityispiirteet	11
2.1.1. Veden laatu	11
2.1.2. Eläimistö ja kasvillisuus	13
2.1.3. Ravintoketju ja sen kunnostaminen	17
2.1.4. Sedimentti ja sen ominaisuuksien mittaaminen	18
2.2. Järven erityispiirteitä	24
2.2.1. Valuma-alue	24
2.2.2. Hydrologia	25
2.2.3. Morfologia	26
2.3. Vesipolitiikan puitedirektiivi kunnostuksen reunaehtona	28
2.4. Luontoarvot kunnostuksen reunaehtona	29
2.5. Rehevän järven ongelmat ja kunnostaminen	30
3. Rehevän järven sisäinen kuormitus	33
3.1 Sisäisen kuormituksen käsite	33
3.2. Sisäisen kuormituksen mekanismit ja niiden suuruuden arviointi	34
3.2.1. Fosforin diffuusion	34
3.2.2. Resuspensio	38
3.2.3. Kaasukonvektio	41
3.2.4. Lämpötilakonvektio	44
3.2.5. Bioturbaatio	46
3.2.6. Yhteenveto	47
4. Kunnostusmenetelmän valinta ja siihen vaikuttavat tekijät	48
4.1. Kunnostusmenetelmän valinta osana järvenkunnostushanketta	48
4.2. Kunnostushankkeen realistisuuden arviointi	50
4.2.1. Alueen asukkaiden toiveet ja huolet	50
4.2.2. Järven ominaispiirteet	51
4.2.3. Reunaehdot	51
4.2.4. Tavoitteiden realistisuus	52
4.3 Kunnostusmenetelmän valinta	53
4.3.1. Kunnostuksen reunaehdot	56
4.3.2. Teknis-taloudelliset ja asukaslähtöiset valintaperusteet	59
5. Rokuan rehevöityneiden järvien kunnostaminen	62
5.1. Rokuan järvet	62
5.2. Rokuan rehevöityneiden järvien kuormitus	65
5.3. Rokuan rehevöityneiden järvien erityispiirteet ja tila	70
5.4 Loma-asukkaiden halukkuus osallistua järven kunnostustoimintaan	78
5.5 Rokuan rehevöityneiden järvien kunnostamismahdollisuudet	79
5.5.1. Leväsoppinen	80
5.5.2. Iso-Syväjärvi	81
5.5.3. Lianjärvi	82
5.5.4. Tulijärvi ja Kotalampi	84
5.5.5. Kirvesjärvi	86
5.5.6. Kunnostustoimien yhdistäminen eri järvillä	87
6. Yhteenveto ja johtopäätökset	88
6.1 Yhteenveto	88
6.2. Johtopäätökset	90
Lähdeluettelo	92
Liitteet	101

1. Johdanto

1.1 Tausta

Järven rehevöityminen, happamoituminen, mataloituminen ja umpeenkasvu ovat keskeisiä ongelmia suomalaisissa kunnostuksen tarpeessa olevissa järvissä (Ympäristöministeriö 1998, Turunen & Äystö 2000). Järvien rehevöitymistä ilmentävät erityisesti viime vuosikymmenen aikana runsastuneet vesikasvien kasvustot ja viime vuosien aikana järvissä lisääntyneet sinileväesiintymät.

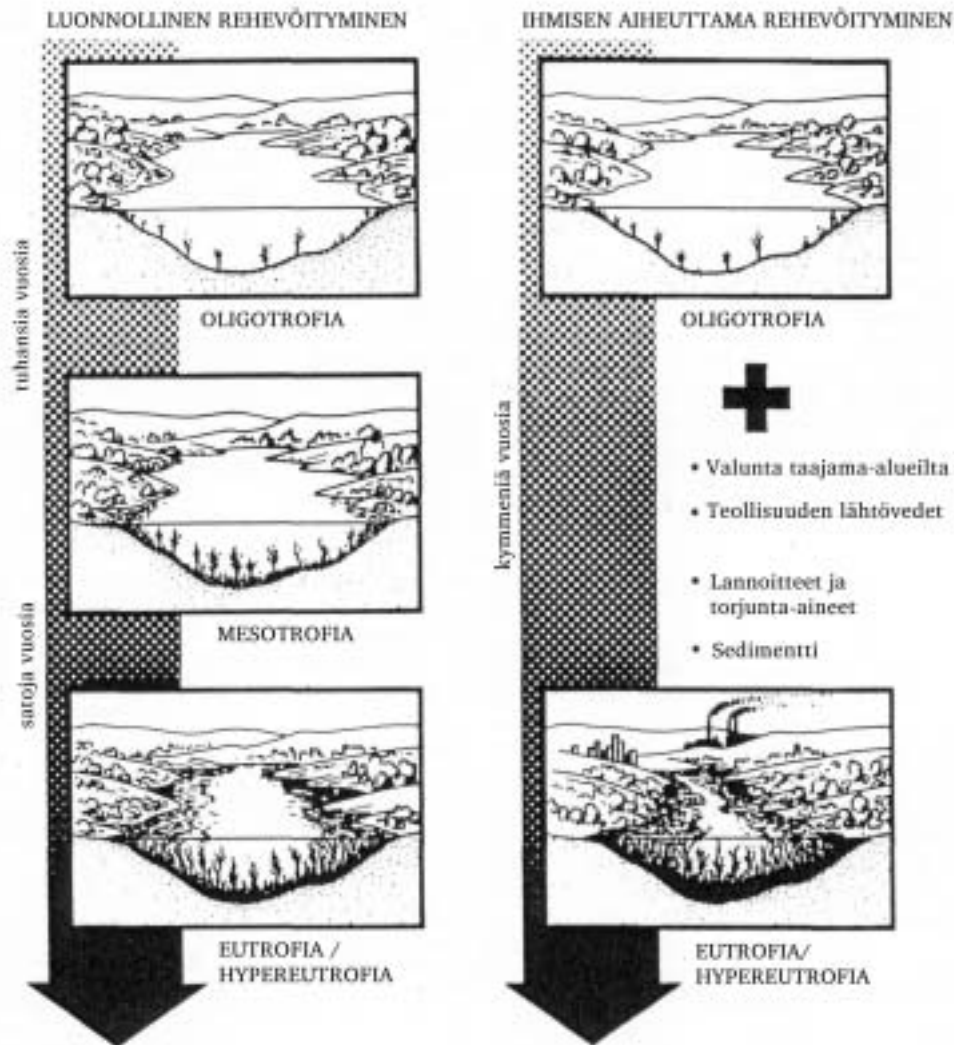
Järvien kunnostaminen on kiinteä osa vesien suojelua, jolloin kunnostetaan ja hoidetaan virkistyskäytön, kalatalouden sekä vesi- ja rantaeliöstön monimuotoisuuden säilymisen kannalta tärkeitä vesistöjä. Yleisesti vesiensuojelun tavoitteet ovat perusteltuja ja niiden toteuttamiseen on yhteiskunnallista painetta. Erityisesti asutuksen läheisyydessä olevien järvien monikäyttöisyyden parantaminen ja järviin kohdistuvan kuormituksen, lähteestä riippumatta, pienentäminen ovat kunnostuksen kannalta keskeisiä tekijöitä. Myös aiemmin voimakkaasti kuormitettujen järvien puhdistamista tulee tehostaa järvien sisäistä kuormitusta vähentävillä hoito- ja kunnostustoimenpiteillä (Ympäristöministeriö 1998).

Yhteistyötä viranomaisten, kuntien, yhteisöjen ja yksittäisten kansalaisten välillä on viime vuosina lisätty järvien kunnostustoiminnassa. Yhteistyötä tulee kuitenkin edelleen järkevöittää omaehtoisen kunnostuksen suuntaan (Ympäristöministeriö 1998) sekä lisätä viestintää ja ihmisten välistä vuorovaikutusta (Rotko & Laitinen 2004, Rotko & Lyytimäki 2004, Äystö 1998). Yhteistyön kehittämiseksi olisi tehtävä myös uusia keskustelun avauksia, jotta vähillä resursseilla voidaan kunnostaa joko useampia järviä tai kohdentaa resursseja tarkoituksenmukaisesti.

Rehevöityneen järven kunnostaminen on myös eräänlaista taistelua osin luontaista, mutta pääosin ihmisen kiihdyttämää kehityskulkua vastaan. Kunnostaminen on siten pitkäjänteistä työtä ja tulosten saavuttaminen voi toteutua vasta vuosien päästä. Onhan järven tilan heikkeneminenkin ihmisen aiheuttamien toimin ollut vuosien, jopa vuosikymmenten aikainen ”työ” (kuva 1). Kunnostustyölle ja sen jälkeen jatkuvalla hoitotyölle on asetettava realistisia, mitattavia tavoitteita eri näkökulmat huomioiden (Väisänen & Kuusela 2002).

Järven valuma-alue ja sen maankäyttö, mutta myös järven ominaispiirteet, vaikuttavat järven tilan kehittymiseen. Kunnostustoimintaa aloitettaessa onkin syytä selvittää erityisesti järven morfologiaa, hydrologiaa sekä limnologiaa, koska jokainen järvi on oma yksilönsä. Lisäksi on otettava huomioon järven luontoarvot ja niiden monimuotoisuus, ekologinen tila sekä järveen kohdistuvat käyttöpaineet ja niistä aiheutuvat kunnostustarpeet. Eri lähtökohdista arvioiden kunnostamisen tavoitteet voi-

vat olla hyvinkin ristiriitaisia. Ristiriitaisia tavoitteita voidaan sovittaa yhteen, mutta liiallisiin kompromisseihin ja järven ominaispiirteiden vastaisiin kunnostuksiin on usein turha kuluttaa resursseja. Järvien kunnostustoiminnan ydin on kohteeseen sopivien, haluttua tulosta tuottavat tavoitteet ja kunnostusmenetelmät. Usein parhaaseen lopputulokseen päästään käyttämällä useita, järveen tai sen valuma-alueeseen kohdistuvia menetelmiä tai niiden yhdistelmiä, jotka ovat kustannustehokkaita.



Kuva 1. Matalan järven luontainen ja ihmisen aiheuttama rehevöityminen karusta (oligotrofia) reheväksi (eutrofia/hypereutrofia). Vasemmalla ravinnepitoisuuksien lisääntyminen asteittain ja järven täyttyminen (umpeenkasvu) tapahtuvat tuhansien vuosien kuluessa. Oikealla suuri ulkoinen kuormitus kiihdyttää järven rehevöitymisprosessia ja järvi voi muuttua reheväksi kymmenien vuosien aikana (Kimmel 1990, Kuusela 2002).

Järveen kohdistuvan kuormituksen vähentäminen on vesiensuojelun perustehtävä. Ulkoisen kuormituksen vähentäminen on perinteisesti määritetty varsinaiseksi vesiensuojeluksi. Erityisesti ihmis-toiminnasta aiheutuvaa ulkoista kuormitusta tulee vähentää parhaan käytettävissä olevan tiedon mukaan, muutoin voidaan syyllistyä nk. tulevaisuusimperialismiin¹⁾. Järven kunnostamisella tarkoi-tetaan suoraan järveen kohdistuvia, lähinnä kertaluontoisia kunnostustoimenpiteitä. Esimerkiksi järven sisäisen kuormituksen vähentäminen on kunnostamista. Järven hoidolla taas vastaavasti tar-koitetaan kunnostusta pienimuotoisempia toimenpiteitä, jotka voidaan toistaa säännöllisesti, esi-merkiksi vuosittain. Järven hoito voi käsittää myös ulkoista kuormitusta vähentäviä toimenpiteitä järven lähialueella. Kunnostuksen jälkeiset järven hoitotoimenpiteet ovat tärkeä osa koko kunnostushanketta, koska niiden tavoitteena on täydentää tai ylläpitää kunnostuksella saavutettua tilaa (Lehtoranta 2005).

1.2. Työn tavoitteet ja rajaus

Tämän työn tavoitteena on luoda ja esitellä menettelytapa rehevöityneiden järvien kunnostusmene-telmän valitsemiseksi niistä lähtökohdista, jotka kunnostettava järvi ja kunnostuksen tavoitteet aset-tavat. Lisäksi tavoitteena on selvittää ne limnologis-morfologis-hydrologiset perusteet, jotka ovat kehitetyn menettelytavan perusteena. Erityisesti tarkastellaan rehevän järven pohjasedimentin hap-pea kuluttavia ja veteen ravinteita tuottavia prosesseja sekä näiden prosessien merkityksen arvioi-mista.

Työ rajautuu otsikkonsa mukaisesti reheviin (ja rehevöitymisvaiheessa oleviin) järviin. Lisäksi ra-joitutaan käsittelemään vain järvessä tehtäviä, lähinnä sisäisen kuormituksen ehkäisemiseen tai vä-hentämiseen tähtääviä toimenpiteitä sekä niitä tukevia kunnostusmenetelmiä.

Työssä on esitetty tapaustutkimuksena Rokuan alueen rehevöityneiden järvien eli Leväsoppisen, Iso-Syväjärven, Lianjärven, Tulijärven, Kotalammen ja Kirvesjärven kunnostuksen yleissuunnitel-ma. Järvistä on koottu käytettävissä olleiden resurssien puitteissa tarvittavat lähtötiedot ja soveltuvat kunnostusmenetelmät on valittu tässä työssä esitetyllä valintamenettelyllä. Rokua on tärkeä matkai-lu- ja luontokohde pohjois-pohjanmaalla. Pääosin alueesta on suojeltua Natura 2000 aluetta ja luon-toarvojen huomioiminen kunnostussuunnittelussa on erityisen tärkeää.

¹⁾ Tulevaisuusimperialismi on Massan (1998) mukaan toimintatapa, joka käyttää hyväkseen tulevien sukupolvien tule-vaaisuutta eli riistää tulevia sukupolvia esimerkiksi saastuttamalla elinympäristöä ja tuhoamalla uusiutuvia ja uusiutu-mattomia luonnonvaroja.

1.3. Työn toteutustapa

Tämän työn tulokset perustuvat useisiin tutkimuksiin ja selvityksiin vuosina 1993 – 2005 (taulukko 1). Vuosina 1993 – 2001 hankkeiden päätutkimuskohteena oli sisäisen kuormituksen vapautumismekanismit ja niiden mittaaminen. Erityisesti mittaustekniikkaa kehitettiin kunnostettavien järvien tilan ja kunnostustoimenpiteiden tuloksellisuuden arvioimiseksi. Kappaleisiin kaksi ja kolme on kerätty niitä järven tilaa kuvaavia tekijöitä ja sisäisen kuormituksen vapautumismekanismeja joista muodostuu kunnostussuunnittelun lähtöaineisto. Samassa yhteydessä on kuvattu niitä näytteenotto- ja mittausmenetelmiä, jolla tämä lähtöaineisto luotettavasti tuotetaan.

Vuosina 1999 – 2005 REHKU - hankkeessa (Rehevien järvien kunnostusmenetelmän valinta) keskityttiin kunnostusmenetelmän valinnan kehittämiseen. Hankkeen koekohteita olivat Pudasjärven Saunajärvi, Taivalkosken Siikalampi ja Rokuan rehevöityneet järvet. Järvien tila ja kunnostusmahdollisuudet arvioitiin samalla, kun kehitettiin ja testattiin kunnostusmenetelmän valintamenettelyä.

Taulukko 1. Licensiaatintyön perustana olevat hankkeet vuosilta 1993 – 2005.

Hanke	Ajankohta	Kirjallisuusviite	Huom.
Vaihtotyöskentely Alankomaiden Ekologisessa Institutissa	1993	Hellsten ym. 1994	
Tuusulanjärven tutkimukset	1994-1996 2003	Sommarlund ym. 1998 Visuri ym. 2003	
Tekojärvien ilmastovaikutustutkimukset (Vuotoshanke)	1994-1996	Martikainen ym. 1996 Hellsten & Väisänen 1998 Huttunen ym. 2002	osa Huttusen pro-gradua ja väitöskirjaa (valmisteilla)
Soiviojärven tutkimukset ja kunnostussuunnitelma	1995	Suoraniemi ym. 1996	osa Suoraniemen pro-gradua
Postilammen tutkimukset	1997	Huttunen ym. 1998	
Ranuanjärvien tutkimukset	1997	Puro ym. 1999	
Metsätalous ja vesistöjen kunnostaminen	1998 - 2000	Väisänen ym. 2001	V. Väisänen DI-työ
Kevättömän tutkimukset	1999 - 2001	Liikanen ym. 2002 Tanskanen ym. 2000	osa Liikasen väitöskirjaa
Saunajärven kunnostaminen	1999 ->	Paananen 2001 Halmeenpää ym. 2005	osittain REHKU-kohde
Siikalammen kunnostaminen	2000 ->	Kuusela 2002 Halmeenpää ym. 2005	REHKU- kohde
Rokuanjärvien tutkimus	2002 ->	Paakki 2004 Männikkö 2004	REHKU-kohde

2. Rehevän järven kunnostamisen limnologiset perusteet ja reunaehdot

2.1. Rehevän järven erityispiirteet

Järven rehevöityminen on luontainen prosessi, mikä johtaa lopulta järven umpeenkasvuun. Rehevöityvän järven perustuotanto kasvaa ja järven sietokyvyn ylittävä kuormitus edelleen kiihdyttää umpeenkasvua. Aikajänne luontaisessa rehevöitymisessä ja sen aiheuttamassa umpeenkasvussa on vähintään tuhansia vuosia, mutta ihmistoiminnalla kehitystä voidaan merkittävästi nopeuttaa (kuva 1). Järven rehevöityminen ilmenee muutoksina vedenlaadussa (mm. ajoittainen happivaje), verkkojen ja rantakivien limoittumisena, sinileväesiintymien ja vesikasvikasvustojen nopeana runsastumisena sekä kalaston särkivaltaistumisena.

Järven rehevyysastetta arvioidaan usein perustuotannon suuruuden, a-klorofyllin pitoisuuden tai tuotantoa rajoittavan minimiravinteiden pitoisuuden kautta. Myös muita tekijöitä järvessä voidaan käyttää järven rehevyyden arvioimisessa. Järven rehevyyden, tilan ja sen kehityksen arvioiminen ovat keskeisiä tekijöitä kunnostussuunnittelun alkuvaiheessa – lähinnä realistisista tavoitteista päättäessä.

Kaikki järvet eivät kuitenkaan noudata edellä kuvattua rehevöitymiskehitystä, sillä esimerkiksi tunturijärvien ja karujen alueiden metsälampien kehityssuunta on vastakkainen.

2.1.1. Vedenlaatu

Järveen kohdistuva typpi- ja fosforikuormitus lisäävät veden typpi- ja fosforipitoisuuksia ja siten edelleen perustuotantoa. Yli puolet Suomen järvistä on fosforirajoitteisia, noin neljännes typpirajoitteisia ja neljänneksessä järvistä kumpikin ravinteista voi rajoittaa kasvua. Kuitenkin juuri rehevissä, fosforikuormitteisissa järvissä typpi on todennäköisemmin minimiravinne kasvukaudella (Pietiläinen ja Kauppi, 1993).

Järven rehevyysastetta arvioidaan mm. perustuotantoa välillisesti kuvaavan a-klorofyllin sekä typpi- ja fosforipitoisuuksien arvoilla (taulukko 2).

Taulukko 2. Forsbergin ja Rydingin (1980) a), OECD:n (1982) b) sekä Elorannan (1997) c) esittämät raja-arvot järvien eri rehevyystasoille.

a)

Rehevyystaso	Kesän keskiarvot			
	Kok-P $\mu\text{g l}^{-1}$	Chl a $\mu\text{g l}^{-1}$	Kok-N $\mu\text{g l}^{-1}$	näkösyyvyys m
Karu	<15	<3	<400	>4,0
Lievästi rehevä	15-25	3-7	400-600	2,5-4,0
Rehevä	25-100	7-40	600-1500	1,0-2,5
Ylirehevä	>100	>40	>1500	>1,0

b)

Rehevyystaso	Kok-P ¹⁾ $\mu\text{g l}^{-1}$	Chl a ²⁾ $\mu\text{g l}^{-1}$	max Chl a ³⁾ $\mu\text{g l}^{-1}$
Karu	≤ 10	$\leq 2,5$	$\leq 8,0$
Lievästi rehevä	10-35	2,5 –8	8-25
Rehevä	35-100	8-25	25-75
Ylirehevä	≥ 100	≥ 25	≥ 75

c)

Rehevyysluokka	Kok-P $\mu\text{g l}^{-1}$	Chl a $\mu\text{g l}^{-1}$
Erittäin karu	0-5	<1
Karu	5-15	1-5
Keski-rehevä	15-50	5-10
Rehevä	50-100	10-50
Ylirehevä	>100	>100

¹⁾ kokonaisfosforipitoisuuden vuosikeskiarvo

²⁾ valaistun kerroksen a-klorofyllipitoisuuden vuosikeskiarvo

³⁾ a-klorofyllipitoisuuden maksimi-arvo

Järven rehevöityessä biologinen tuotanto lisääntyy ja sedimentissä hajotustoiminnan intensiteetti lisääntyy. Nämä lisäävät hapen kulutusta ja edelleen kiihdyttävät rehevöitymistä vapauttamalla ravinteita vapaaseen veteen. Järvessä esiintyviä happikatoja, erityisesti kevättalvella ja kesäkerrostuneisuuden loppuvaiheessa, voidaan pitää järven rehevöitymisen ensiaskelina.

Järven veden fosforipitoisuudet vaihtelevat järviyypeittäin eri vuodenaikoina. Ison, pitkäviipymäisen järven ulappa-alueella veden fosforipitoisuus kasvaa syksyllä, saavuttaa maksimi-arvonsa kevättalvella ja laskee selvästi kevätkesällä järven biologisen aktiivisuuden ollessa korkeimmillaan. Lyhytviipymäisessä latvajärvessä veden fosforipitoisuus saavuttaa huippunsa ylivaluma-aikoina keväällä lumien sulaessa ja syyssateiden aikana. Rehevän, sisäkuormitteen järven veden fosforipitoisuus kasvaa yleensä loppukesää kohden (Eloranta 2005).

2.1.2. Eläimistö ja kasvillisuus

Järven rehevöityessä järven eliöstö ja kasvillisuus muuttuvat. Yleisesti ottaen rehevöitymisen alkuvaiheessa laji- ja yksilömäärät lisääntyvät, mutta rehevöitymiskehityksen edetessä lajisto yksipuolistuu ja yksilömäärä kasvaa.

Kalat

Rehevöityminen näkyy kalaston särkivaltaisuutena, pyydysten limoittumisena, kalojen makuvirheinä sekä kalakuolemina. Kalat ovat helposti tunnistettava eliöryhmä järvissä, mutta niiden määrällisen tiedon saatavuus tutkittavasta järvestä voi olla vaikeaa. Järvien kunnostuksen kannalta oleellista on juuri pienten särkikalojen biomassan määrä. Tämän kokoluokan särkikaloja ei juurikaan pyydytetä ravinnoksi tai rehuksi ja siten kotitarvekalastajille suunnatut kyselyt harvoin tuottavat tarvittavaa tietoa.

Kunnostuksen taustatiedoksi onkin syytä koekalastaa järvi Nordic-koeverkoin. Koeverkkokalastuksella saadaan tietoa järven kalakannan lajisto- ja kokojakaumasta (Sammalkorpi & Horppila 2005, Olin & Ruuhijärvi 2002). Lisäksi kalakannan ikäjakauma, kalataudit sekä kalojen ravintonäytteet antavat tarkempaa tietoa järven kalakannasta, kalojen ravinnon saannista ja siten järven tilasta (Horppila ym. 1995).

Järven happipitoisuuden lisäksi myös muut veden laatutekijät tekijät, kuten pH vaikuttavat kalabiomassan (kg ha^{-1}) kasvuun järvissä. Järven talvinen vähähappisuus voi osaltaan auttaa järven kalakannan särkivaltaistumista, sillä särkikalat sietävät parhaiten vähähappisia olosuhteita (taulukko 3).

Taulukko 3. Eri kalalajien ja ravun a) hapentarve ja b) happamuudensietokyky. Alin menestymisraja kuvaa sitä happipitoisuutta, minkä jälkeen hapenpuute aiheuttaa kalakuolemia. Koko järven veden happipitoisuuden tulee laskea ko. raja-arvon alapuolelle ennen kuin ilmenee merkittäviä kalakuolemia.

a)

Laji	Happipitoisuus mg l^{-1}	
	Normaali hapentarve	Alin menestymisraja
Taimen, lohi, siika, mutua, muikku, kivennuoliainen ja kivisimppu ¹⁾	10-16	3,5-4
Harjus, turpa, törö, made, ahven ja kuha	7-10	
Särki, kiiski ja hauki ¹⁾	yli 5	1,5 –2,2
Lahna, karppi, suutari, pasuri ja ruutana ¹⁾		1,2 –0,6
Rapu ²⁾	10-16	5-3,2
Mäti ³⁾		5

¹⁾ Koli 1984

²⁾ Westman & Nylund 1985

³⁾ Kilpinen 1988

b)

Laji ¹⁾	pH-arvon alaraja		
	Kuolettava raja-arvo	Laji häviää	Häiriöitä lisääntymisessä
Kirjolohi	5,5	5,5	6,0
Mutu	5,2	5,5	6,0
Made		5,2	6,0
Särki	4,2	5,3	5,7
Lohi		5,0	5,5
Taimen	4,1	4,5	5,5
Puronieriä		4,5	5,5
Ahven		4,0	5,5
Nieriä		5,0	5,2
Hauki		4,2	5,2
Rapu		alle 6,0	

¹⁾ kalat: Kilpinen 1988

rapu: Westman ja Nylund 1985

Järviin kohdistuvalla ulkoisella, rehevöittävällä kuormituksella voi olla yllättäviä vaikutuksia järven kalakantaan. Erityisesti pienten järvien ja lampien ekosysteemit ovat hyvin häiriöherkkiä muutoksille. Suuriin järviin verraten pienet järvet ovat kalojen elinympäristönä yksipuolisempia ja tarjoavat vain niukasti vaihtoehtoja lisääntymis-, poikastuotanto- tai syönnösalueiden suhteen (Väisänen ym. 2001, Ahvonen ym.1992).

Pohjaeläimet

Pohjaeläimet kuvaavat hyvin järven pohjan ja sen yläpuolisen veden laatua. Paikallisina, pitkäikäisinä ja vallitsevia olosuhteita kuvaavina, niillä on hyvä informaatioarvo järven tilan arvioinnissa. Pohjaeläinyhteisöön vaikuttavat sedimentin ja veden laatu sekä happitilanne, lämpötila syvyys, kilpailu ravinnosta sekä pohjaeläimiin kohdistuva saalistus. Tärkeimpiä pohjaeläinryhmiä ovat harvasukasmadot, juotikkaat, äyriäiset, nilviäiset ja hyönteiset (Wetzel 1983). Pohjaeläinten tuorepainosta määritetty kokonaisbiomassa (g m^{-2}) kuvaa hyvin järven rehevyystasoa, koska mm. keskimääräinen yksilöpaino järven ulappa-alueella kasvaa rehevöitymisen myötä (taulukko 4). Kuitenkin voimakkaasti kuormitetuissa, pilaantuneissa sedimenteissä kokonaisbiomassa on pieni ja lajiston määrä vähäinen. Yksittäisissä pohjaeläinlajeissa on myös rehevöitymisen, mutta erityisesti kuormituksen, indikaattorilajeja. Esimerkiksi *Chironomus plumosus* lajin surviaissääsken toukkien lukumäärä on hyvä ravinnekuormituksen indikaattori. Niiden toukkien runsas määrä kertoo korkeasta kuormituksesta ja rehevyydestä.

Pohjaeläimet ovat olennainen osa järven ravintoketjua. Pohjaeläimet liikkuvat ja saalistavat sedimentin pintakerroksessa. Liikkuminen aiheuttaa ravinteiden, erityisesti huokosveden sekoittumista yläpuoliseen veteen, eli bioturpaatiota. Pohjaeläimiä ravinnokseen etsivät kalat pöyhivät sedimentin pintaa ja vapauttavat samalla ravinteita veteen.

Taulukko 4. Pohjaeläinten kokonaisbiomassan (ulappanäytteiden tuorepaino) sekä järven rehevyystason välinen yhteys (Paasivirta, 1989).

Rehevyystaso	Kokonaisbiomassa g m ⁻²
Ultraoligotrofia	0,1-0,5
Oligotrofia (karu)	0,5-1,6
Mesotrofia	1,6-6,0
Eutrofia (rehevä)	6,0-17,0
Hypereutrofia	>17,0
Pilaantunut	< 0,1

Kantola ym. (2001) ovat ohjeistaneet järvien tilan seurantaan soveltuvan pohjaeläinnäytteenoton sekä näytteiden ja tulosten käsittelyn.

Eläinplankton

Planktoneläimet ovat vesien ravintoverkossa tärkeitä välittäjiä kasvi- ja bakteeriplanktonin ja kalojen välillä. Planktoneläimistön runsautta säätelevät siten keskeisesti ravinnon määrä ja saalistajat. Sisävesien planktoneläimiä ovat rataseläimet (*Rotifera*) sekä äyriäisiin kuuluvat vesikirput (*Cladocera*), keijuhankajalkaiset (*Calanoida*) ja kyklooppihankajalkaiset (*Cyclopoida*). Planktonissa on myös alkueliöiden (*Protista*) ryhmään kuuluvia eliöitä, kuten ameeboja ja ripsieläimiä (*Ciliophora*) (Helminen ym. 1995).

Eläinplankton kuvastaa vedessä vallitsevia oloja lajistollaan, biomassallaan, tuotannollaan, yhteisö-rakenteellaan (lajiluku, määräsuhteet, koko- ja ikärakenne, jälkeläistuotto) ja liikkeillään. Selviä eläinplanktoniin perustuvaa rehevyysluokitusta ei ole, koska eläinplankton edustaa useita eri ravintotasoja, kuten kasvinsyöjiä, petoja, kaikkiruokaisia, detrituksen syöjiä ja bakteerien syöjiä (Helminen ym. 1995). Toistaiseksi ei ole riittävästi tutkimustietoa eläinplanktonista luokituksen tekemiseksi.

Eläinplanktonia esiintyy koko vesirungossa ja lisäksi jotkut lajeista viettävät osan elinajastaan sedimentissä. Eläinplankton nousee öisin pintaan syödäkseen pintakerroksessa esiintyvää kasviplanktonia ja siirtyy päivisin syvemmälle suojautuakseen kalojen saalistukselta. Eläinplankton laiduntaa kasviplanktonia ainakin koon ja myrkyllisyyden mukaan valikoiden. Erityisesti järven rehevöitymisen alkuvaiheessa joidenkin levälajien kiihtynyt kasvunopeus yhdistettynä eläinplanktonin valikoivaan laiduntamiseen saattaa muuttaa planktonyhteisöä, ja vaikuttaa myös sinileväkukintojen yleistymiseen. Rehevöitymisen edetessä eläinplanktonin vaikutus kasviplanktonyhteisön koostumukseen yleensä vähenee, koska kasviplanktonyhteisössä vallitseviksi tulevat suurikokoiset ja jopa myrkylliset sinilevät ja piilevät. Lisäksi runsas särkivaltainen kalasto pitää levänsyöjäplanktonin

niukkana. Rehevissä järvissä partikkelien runsaus haittaa äyriäisiä ja bakteerituotannon lisääntymisen näkyy alkueläinten ja rataseläinten suhteellisen määrän kasvuna (Helminen ym. 1995).

Vesikasvit (Makrofyytit)

Vesikasveihin kuuluvat makrolevät sekä lajeja putkilokasveista ja sammaleista. Vesikasvit, myös vedenpinnan alapuolella kasvaessaan, tarvitsevat valoa ja sen vuoksi niiden kasvustot ovat järvessä lähellä rantaa. Vesikasveista erityisesti ilmaversoiset, kelluslehtiset ja pohjalehtiset ottavat ravintonsa suurelta osin sedimentistä, kun taas irtokellujat ja uposlehtiset ottavat ravintonsa suoraan vedestä. Kuolevista ja kuolleista kasveista vapautuu suuria määriä ravinteita vesistöön.

Vesikasvit reagoivat kuormitukseen ja rehevöitymiseen hitaasti ja ovat siten hyviä pitkäaikaisten muutosten indikaattoreita. Kasvillisuuskartoituksissa määritellään lajiston runsaus ja yleisyys sekä vyöhykkeisyys. Erityisesti indikaattorilajien esiintyminen ja runsaus kuvastavat hyvin järven rehevyytasoa. Esimerkiksi karvalehti (irtokeijuja) kuvastaa reheviä olosuhteita ja nuottaruoho (pohjalehtinen) karuja olosuhteita (Sandman ym. 2004).

Vesikasvien tulokaslajit voivat olla järven kunnostamisen kannalta merkittäväkin ongelma. Esimerkiksi Taivalkosken Siikalammella vesiruttokasvustot (*Elodea canadensis*) estivät särkikalojen nuottauksen ravintoketjun kunnostamiseksi. Tämän vuoksi Siikalammella oli tehtävä vesiruton raivausnuottaukset ennen muiden kunnostustoimien aloittamista (Kuusela 2002).

Kasviplankton

Kasviplankton näytteistä määritetään yleensä lajisto ja biomassa. Kasviplanktonlajeja on ryhmitelty rehevyyden ilmentämisen mukaan. Kasviplanktonin biomassa kasvaa ja lajisuhteet muuttuvat rehevöitymisen myötä (taulukko 5). Esimerkiksi sini- ja silmälevät, *Eupodiscales*-piilevät sekä *Chlorococcales*-viherlevät suosivat kasvupaikkoinaan reheviä olosuhteita. Vastaavasti koristelevät (*Desmidiaies*) suosivat karuja olosuhteita. Kasviplanktonin käyttöä järven tilan arvioinnissa vaikeuttaa kuitenkin lajiston nopea muuttuminen avovesikaudella (Järnefelt 1952, Heinonen 1980). Levien kasvuolosuhteita ja ravinteiden käyttökelpoisuutta voidaan tutkia levätestein. Esimerkiksi ruopauskerroksen alapuolella olevan sedimentin fosforin käyttökelpoisuutta voidaan testata niillä.

Taulukko 5. Kasviplanktonin biomassa ja a-klorofylli järven eri rehevyytasoilla (Ympäristö 2000).

Rehevyystaso	Biomassa mg l ⁻¹	a-klorofylli µg l ⁻¹
Karu	< 0,5	< 4
Alkava rehevöityminen	0,5 – 1,0	4 – 8
Lievästi rehevöitynyt	1,0 – 2,5	8 – 20
Rehevöitynyt	2,5 – 10,0	20 – 80
Hyvin rehevöitynyt	> 10,0	> 80

Perifyton

Perifytonia eli alustaan kiinnittyneitä leviä voidaan tutkia biomassana (a-klorofylli) tai lajimäärityksinä. Erityisesti keinoalustalle (muovilevyt) kiinnittyviä leviä on käytetty järveen kohdistuvan kuormituksen vaikutusten arvioimiseksi. Lisäksi kalaverkkojen limoittumisnopeutta on voitu arvioida havaksen limoittumismenetelmällä. Perifytonmääritykset kuvaavat hyvin vesistön tilaa käyttäjän kannalta (Mäkelä ym. 1992).

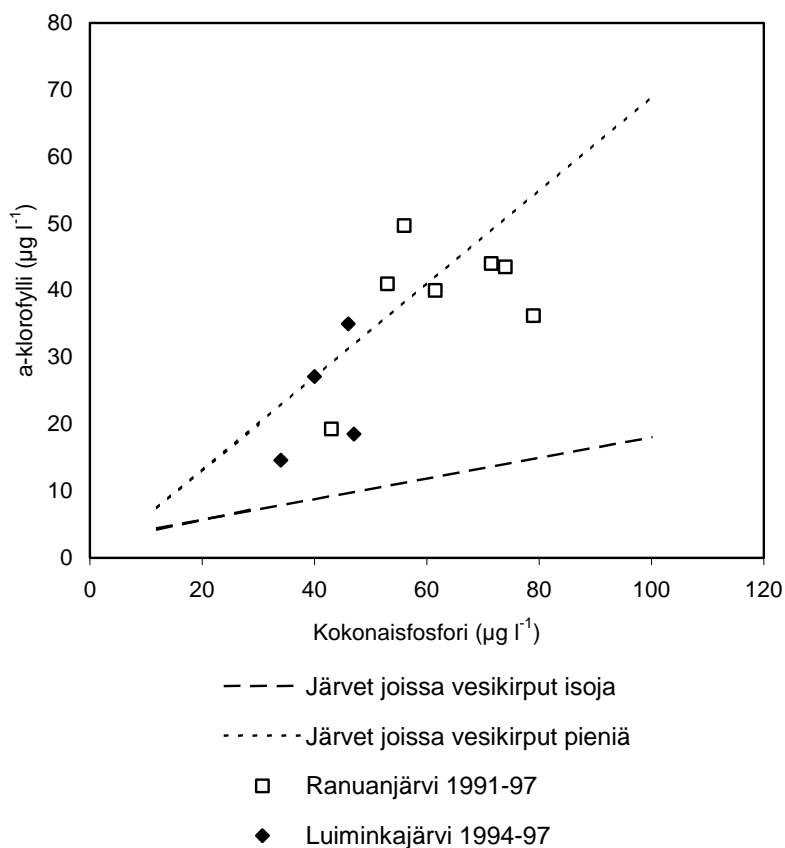
Perifytonlevistä yleisimpiä ovat viher- ja piilevät (Häkanson & Jansson 1983). Erityisesti piilevät kuvaavat hyvin vesistön rehevyyttä. Niiden lajisuhteiden perusteella voidaan laskea indeksejä, jotka kuvaavat vesistön rehevyyttä, happamuutta ja orgaanista kuormitusta. Piilevien kuoret ovat hyvin säilyviä ja lajispesifisiä. Sedimenttiin kertyneitä piileviä onkin käytetty järven rehevöitymishistorian rekonstruointiin (Kauppila 2005, Kauppinen 2005).

2.1.3. Ravintoketju ja sen kunnostaminen

Eläinplanktonyhteisö laiduntaa voimakkaasti leviä ja alkueläimiä. Varsinkin niukkatuottoisissa ka-ruissa järvissä valtaosa levistä joutuu vesien pieneliöstön ruuaksi. Tällöin eläinplanktonyhteisö säätelee tuottajien eli levien lajikoostumusta ja biomassaa. Rehevissä järvissä särkikalat syövät suuri-kokoisia eläinplanktonlajeja tehokkaasti ja ylläpitävät siten osaltaan järven rehevää tilaa. Suuriko-koisten eläinplanktonlajien biomassan vähentyessä runsastuvat suurikokoiset kasviplanktonlajit, esimerkiksi sinilevistä. Eläinplanktonin vähetessä särkikalat alkavat lisäksi etsiä ravintoa poh-jasedimentistä kasvattaen siten järven sisäistä kuormitusta (Helminen ym. 1995).

Kun eläinplanktonia ravintonaan käyttävien planktoninsyöjäkalojen (särkikalat) määrää vähenne-tään (tehokalastus), pääsevät suurikokoiset eläinplanktonlajit runsastumaan ja laiduntamaan leviä. Jos samalla kasvua rajoittavan ravinteiden määrä vedessä vähenee tai ravinteiden kierto nopeus kasvaa, vähenevät myös sinileväkukinnot. Ravinteiden kiertoa nopeuttavat pienikokoinen ja nopeakasvui-nen planktonlevästö sekä eläinplankton. Samalla vesi kirkastuu suurikokoisen kasviplanktonlajien, erityisesti sinileviin kuuluvien lajien ja särkikalojen nostattaman samennuksen hävittyä (Helminen ym. 1995).

Sarvala ym. (1997) ovat esittäneet arviointimenetelmän, jolla tehokalastuksen mahdollisuuksia jär-ven kunnostamiseksi voidaan arvioida. Arviointimenetelmä perustuu alunperin Mazumberin (1994) esittämiin regressioihin veden kokonaisfosforipitoisuuden ja veden a-klorofyllipitoisuuden suhteesta, joka riippuu eläinplanktonin koosta (kuva 2). Ravintoketjukunnostamisella voidaan alentaa suu-rikokoista eläinplanktonia syöviä särkikalojen määrää, jolloin eläinplanktonin sinilevälaidunnuksen kasvaa ja levähaittojen vähentyä.



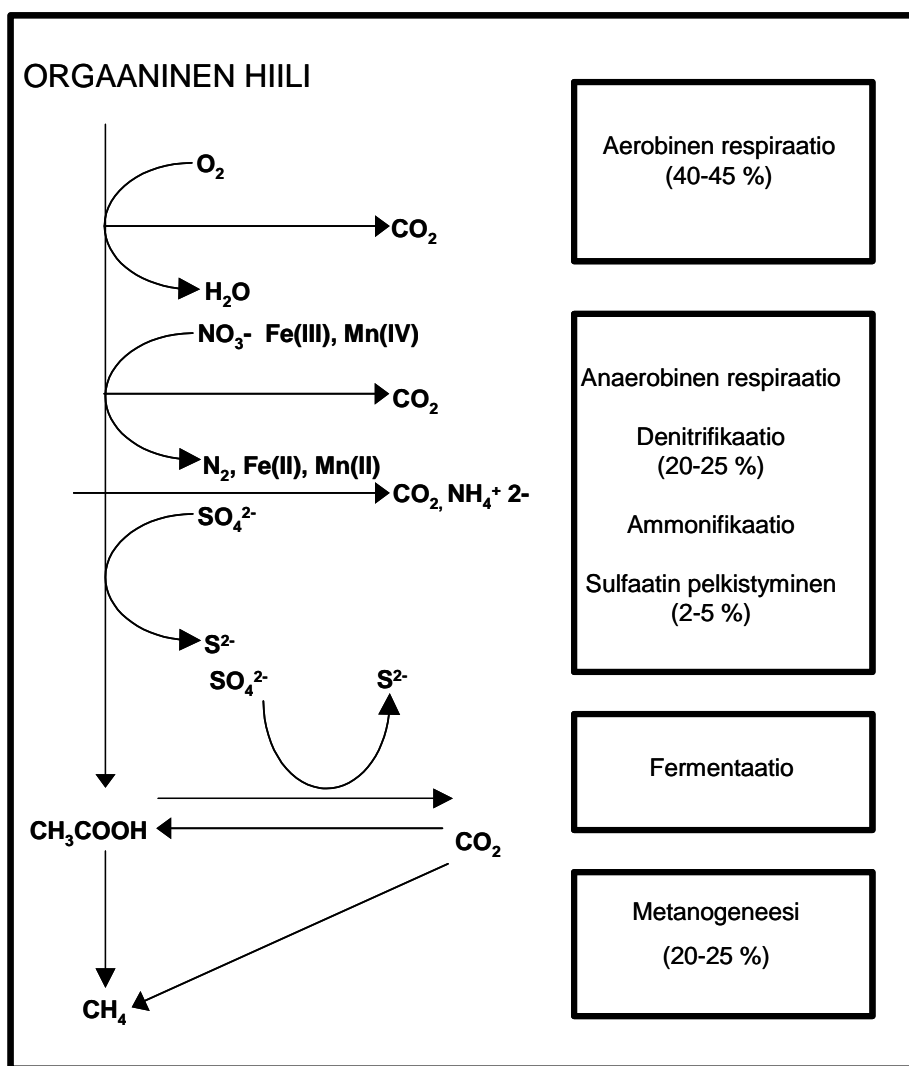
Kuva 2. Kasviplanktonin a-klorofyllin ja veden kokonaisfosforipitoisuuden välinen riippuvuus Ranuanjärvässä ja Luiminkajärvässä heinä-elokuun pintaveden (0 - 2 m) vedenlaatuhavaintojen perusteella vuosina 1991 – 1997 (Puro ym. 1999). Regressiosuorat ovat alunperin Mazumberin (1994) esittämiä ja kuvaavat muuttujien suhdetta planktoneläimistöltään erilaisissa kerrostumattomissa järvissä (Sarvala ym. 1997).

2.1.4. Sedimentti ja sen ominaisuuksien mittaaminen

Sedimentti on tärkeä ravinteiden kiertoprosessien ympäristö ja siksi myös tärkeä järven toiminnan kannalta. Aktiivisin osa sedimenttiä on muutaman millin, korkeintaan sentin paksuinen pintakerros sedimentin ja veden rajapinnassa. Sedimentin pintakerrokseen laskeutuu tuoretta orgaanista ainetta, mitä bakteerit hajottavat ravinnokseen ja energian lähteeksi. Bakteerit metaboliatuotteillaan vaikuttavat suurelta osin sedimentin kemialliseen ympäristöön. Keskeisiä bakteeriprosesseja ovat nitrifikaatio, denitrifikaatio, typen sitominen, rikin ja raudan pelkistyminen sekä hapettuminen, käyminen ja metaanin muodostuminen (Håkanson & Jansson 1983).

Orgaaninen aines

Järven rehevöityessä sedimentoituvan orgaanisen aineksen määrä kasvaa. Sedimentin bakteeriaktiivisuus ei kuitenkaan vastaavasti kasva, koska kasvua rajoittaa hapenpuute ja siten sedimentin aerobinen kerros rehevöitymisen myötä ohenee. Pääosa sedimentoituvasta tuoreesta orgaanisesta aineksesta hajoaa aerobisissa olosuhteissa (aerobinen respiraatio), mutta hajotus jatkuu tämän jälkeen anaerobisesti (anaerobinen respiraatio, fermentaatio ja metanogeneesi) (kuva 3). Orgaanisen aineen hajotusprosessit liittyvät miltei kaikkiin aineiden kiertoihin sedimentissä; erityisen merkittävää on leville käyttökelpoisen liukoisin fosfaatin vapautuminen sedimentistä orgaanisen aineen hajoamisen lopputuotteena (Sinke ym. 1990).



Kuva 3. Orgaanisen aineen hajotusprosessit ja niiden suhteelliset osuudet rehevän järven sedimentissä (Jones & Simon 1980, Jones & Simon 1981).

Fosfori

Pääosa eli noin 98 % sedimentin fosforista on partikkelimaisessa muodossa (Lean 1973). Kokonaisfosforia on sedimentissä yleensä 1 - 3 mg kuiva-ainegrammaa kohden. Kokonaisfosforin määrä ei kuitenkaan anna oikeaa kuvaa sedimentin ja samalla järven rehevyydestä (Boström 1982, Hellsten 1997). Sedimentissä fosfori on sitoutunut joko epäorgaanisessa tai orgaanisessa muodossa. Epäorgaanisen fosforin liukenemisherkkyyttä esimerkiksi happiolosuhteiden muuttuessa voidaan selvittää sedimentin uuttokokeiden avulla. Useissa tutkimuksissa on todettu helposti eli CDB- ja NaOH/NH₄Cl-uuttoissa vapautuvan ja levien pääosin käyttämän fosforin olevan nk. ei-apatiittifosforia (Messer ym. 1984, Premazzi & Zanon 1984, Allan & Williams 1978). Kalsiumiin (Ca) sitoutunutta niukkaliukoista (HCl-uutto) fosforia kutsutaan apatiittifosforiksi (Boström 1982). Orgaaninen fosfori on em. uutteiden kokonaisfosforin ja PO₄-fosforin erotus ja sitä esiintyy pääosin sedimentin pintakerroksessa, kuten myös epäorgaanista ei-apatiittifosforia.

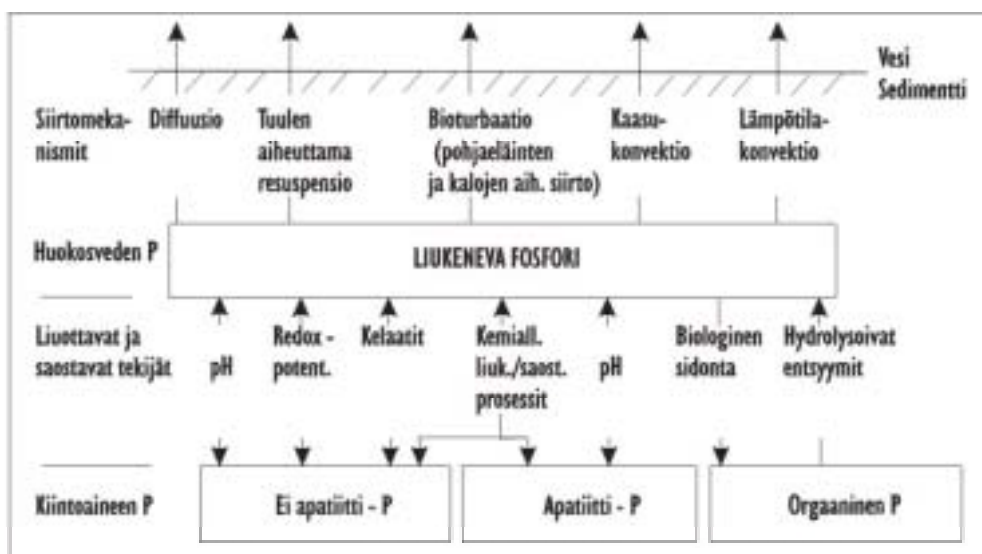
Sedimentin huokosveden fosforivaranto on noin 1-2 % sedimentin kokonaisfosforimäärästä (Lean 1973). Huokosveden fosforipitoisuus on kuitenkin 5 - 20 -kertainen yläpuoliseen vesimassaan nähden, ollen tyypillisesti 20 - 2 000 µg l⁻¹. Huokosvesi on sedimentin fosforinkierrossa tärkeässä roolissa toimiessaan välittävänä mekanismina sedimentistä vapautuvan fosforin kulkeutuessa yläpuoliseen vesimassaan. Huokosveden fosforipitoisuus kuvastaa Ohlen (1964) mukaan huomattavassa määrin järven rehevyytensä, vaikkakin vuodenaikainen vaihtelu on suurta erityisesti sedimentin pintakerroksessa.

Fosforin liukeneminen sedimentistä veteen ja sitä säätelevät tekijät

Fosforin vapautumiseen sedimentistä vaikuttaa useita tekijöitä (kuva 4). Keskeisin mitattava muuttuja, kun arvioidaan fosforin liukenemista sedimentistä huokosveteen, on redox-potentiaali (Mortimer 1941). Normaalioloissa sedimentin pintakerros on hapettunut, jolloin ferrirauta saostuu fosforin kanssa rauta(III)oksidihydroksidifosfaatiksi. Hapettomissa oloissa, kun happipitoisuus on noin 0,1 mg l⁻¹ eli redox-potentiaali on tasolla +200 mV, rauta(III) (ferri) pelkistyy rauta(II):ksi (ferro). Tällöin rautayhdisteiden pidätyskyky heikkenee ratkaisevasti ja sekä fosforia että rautaa liukenee huokosveteen (kuva 4). Veden nitraatti voi toimia hapettimena ja viivästyttää ferriraudan pelkistymistä kunnes nitraatti loppuu (Boström ym. 1982). Andersen (1982) on havainnut, että lämpötilakerrostuvissa järvissä tapahtuu huomattavaa fosforin vapautumista nitraatin määrän laskiessa hapettomissa olosuhteissa alle 0,1 mg l⁻¹ ja että vapautumista ei tapahtunut juuri ollenkaan nitraattipitoisuuden ollessa yli 1 mg l⁻¹. Matalissa järvissä vastaava raja-arvo on 0,5 mg l⁻¹. Myös hapettunut mangaani (IV) voi olla tehokas pelkistyjä estäen rautaan sitoutuneen fosforin vapautumisen.

Useissa järvissä on rautaan sitoutuneen fosforin määrä sängen suuri, jopa yli 50% sedimentin kokonaisfosforista. Alusveden redox-potentiaalin laskiessa alle +100 mV:n voi ferrorauta sitoutua pelkistävissä olosuhteissa sulfaatista muodostuvaan sulfidiin muodostaen liukenematonta ferrosulfidia (FeS FeS_2). Ferrosulfidin vaikutuksesta reaktiivisen raudan määrä saattaa vesimassassa vähentyä niin, että se ei pysty täyskiertojen aikana enää sitomaan fosforia (Wetzel 1983). Tosin humusvesissä, kuten suurimmassa osassa pohjoispohjanmaalaisia järviä, suurin osa raudasta on ilmeisesti sitoutunut humusaineisiin eikä reagoi sulfidien kanssa. Piispasen (1987) mukaan monet orgaaniset ainekset kuten orgaaniset hapot ja humusaineet voivat pelkistää sekä ferrirautaa että mangaania ja vapauttaa fosforia. Vastaavasti kalsiumiin(Ca) ja kupariin (Cu) sitoutunut fosfori voi myös vapautua orgaanisten happojen vaikutuksesta (Stevenson 1982).

Veden voimakas emäksisyys, esimerkiksi kesäisten leväkukintojen yhteydessä vapauttaa ferrorautaan sitoutunutta fosfaattia veteen. Matalissa erittäin rehevissä järvissä pH voi sedimentin ja veden rajapinnassa nousta riittävän korkealle fosforin vapautumiseksi. Myös alumiiniin ja savimineraaleihin sitoutunut fosfori voi vapautua pH:n noustessa (Jacobsen 1978). Myös humusaineet sitovat fosfaattia tehokkaimmin alhaisessa pH:ssa (Franco & Heath 1979), jossa ne omaavat vähäisimmän negatiivisen varauksen. Vastaavasti pH:n nousu aiheuttaa fosforin vapautumista. Luonnonoloissa fosforin vapautuminen veden kiintoainespattikkeleista ja sedimentistä alkaa pH:n noustessa yli kahdeksan.



Kuva 4. Fosforin eri muodot ja niiden vapautumis- ja kulkeutumismekanismit sedimentin ja vesimassan välillä (Lappalainen & Matinvesi 1990).

Alumiiniin (Al), kalsiumiin (Ca) ja savimineraaleihin sitoutunut fosfori sekä myös orgaaninen fosfori ovat lähes riippumattomia redox-potentiaalin vaihteluista (Boström ym. 1982, Kettunen & Stenmark 1982, Schindler ym. 1977). Mikäli sedimentin fosforin sitomiskyky on suuri, esimerkiksi alumiinin vuoksi, ei sedimentistä vapaudu fosforia hapettomissakaan olosuhteissa. Vastaavasti orgaanisten fosforiyhdisteiden hajotessa sedimentissä aerobisissa olosuhteissa voi fosforia vapautua hetkittäin merkittävästikin (Ryding & Forsberg 1977).

Redox-potentiaalin laskiessa edelleen tasolle -300 mV alkaa sedimentissä metaanin tuotanto, mikä johtaa myöhemmin kaasukonvektioon ja sedimentin hiukkasten kulkeutumiseen yläpuoliseen veteen.

Sedimentin fosforikyllästysaste ilmaisee, missä määrin fosforin "sitoutumispaikat" ovat sedimentissä täytetyt. Fosforia ei merkittävästi vapaudu sedimentistä, ellei sedimentti ole "kyllästynyt" fosforista (Håkanson & Jansson 1983). Epäorgaaninen fosfori sitoutuu ja sekoittuu sedimentin pintakerrokseen, joka muodostaa eräänlaisen puskurin järveen kohdistuvia kuormitusmuutoksia vastaan (Piispanen 1987). Sedimentin pidättymis- eli sorptiokokein voidaan arvioida sedimentin kykyä sitoa epäorgaanista fosforia (Liikanen ym. 2004). Sorptiokokeissa veteen, jossa on tunnettu määrä fosforia lisätään sedimenttiä. Muodostunut suspensio ravistellaan ja suodatetaan, minkä jälkeen suodoksesta määritetään fosforipitoisuus. Sedimenttiin sitoutuneen fosforin määrä veden eri fosforipitoisuuksilla kuvaa sedimentin fosforinpidätyskykyä. Sedimentistä vapautuvan fosforin (desorptio) määrää voidaan arvioida erilaisissa olosuhteissa esimerkiksi putkikokein (Liikanen ym. 2004, Tanskanen ym. 2000). Putkikokeissa sedimenttinäytteen yläpuolella kierrätetään vettä, minkä happipitoisuutta, ravinnesuhteita ym. ominaisuuksia voidaan säätää. Sedimenttiputkessa kierrätetyn veden laatua tarkkailemalla saadaan tietoa sedimentistä vapautuvan fosforin määrästä. Sedimentin fosforinpidätyskykyä voidaan lisätä erilaisin alumiini- ja rautapohjaisiin kemikaaleihin.

Hiili-typpi-suhde (C/N)

Hiilen ja typen välisen suhdeluvun (C/N) ja orgaanisen aineen pitoisuuden välinen suhde kuvaa sedimentin rehevyyttä (Hansen 1961). Oligotrofisissa järvissä C/N-suhde on korkea ja orgaanisen aineen pitoisuus alhainen, eutrofisessa järvessä suhdeluvut ovat päin vastoin. Ruskeavetisen järven sedimentissä sekä C/N-suhde että orgaanisen aineen pitoisuudet ovat molemmat korkeita. Sedimentin pintaosassa havaittavaa voimakasta orgaanisen aineen ja typen välistä riippuvuutta hyödyntäen Håkanson (1981) nimesi sedimentin tyypipitoisuuden ja hehikutushäviön välisen korrelaatioisuuden kulmakertoimen BPN-indeksiksi (biotuotantoluku). Oligotrofisissa järvissä BPN-arvot ovat pienempiä kuin 0,33, mesotrofisissa 0,33 - 0,45 ja eutrofisissa 0,45:stä ylöspäin (Håkanson & Jansson 1983). Järven vesikemian ja BPN-indeksin mukaisia arvioita järven rehevyystasosta voidaan käyt-

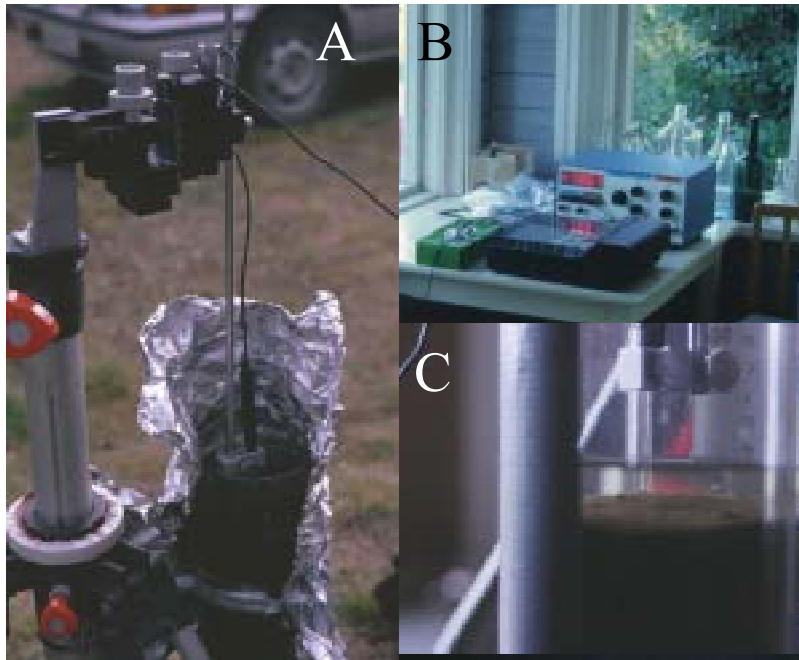
tää järven tilan muutoksen ja sen herkkyyden arviointiin. Alkava rehevöityminen näkyy sedimentissä yläpuolista vettä aikaisemmin.

Sedimentin redox-potentiaalin ja happipitoisuuden mittaaminen

Sedimentin redox-potentiaali voidaan mitata maasto-olosuhteissa tavallisella pH/mV mittarilla (kuva 5). Mitta-anturin tulee olla kiinteille tai lietenäytteille sopiva ja kalibroitu redox-elektrodi. Tällaisen elektrodin mittapään halkaisija on yleensä 0,5 – 1 cm ja mittausepävarmuus on tyypillisesti ± 5 mV. Mittauksella määritetään vähintään 1 cm paksuisen sedimenttikerroksen hapetus-pelkistystila. Sedimentissä on usein kuitenkin erilaisia vyöhykkeitä, esimerkiksi mustia sulfaattiraitoja, joiden hapetus-pelkistystila voi poiketa yleistilasta. Tällaisia mittaustarpeita varten VTT:llä kehitettiin mini- ja mikroelektrodimittauslaitteisto, millä voidaan mitata sedimentin redox-potentiaalia milli- tai mikrometrin välein (kuva 6.) Samainen mikroelektrodimittauslaitteisto soveltuu myös sedimentin happipitoisuuden eli hapen tunkeutumissyvyyden määrittämiseen (Hellsten ym. 1994, Suoraniemi ym. 1996, Martikainen ym. 1996, Huttunen ym. 1997, Väisänen & Hellsten 1997). Parhaan käsityksen sedimentin hapetus-pelkistystilasta saa tulkitsemalla happi- ja redox-mittausten tuloksia yhdessä. Sedimentin yläpuolisen veden laadun jatkuva seuranta täydentää sedimentin tutkimuksissa määritettyä kuvaa järvessä tapahtuvista ravinteita vapauttavista prosesseista (Juntura ym. 1997).



Kuva 5. Sedimentin redox-potentiaalin mittaus talvisissa maasto-olosuhteissa pH/mV -mittarilla (A). Laskeutuvan aineksen redox-potentiaalin mittaus minielektrodilla (B). Valokuvat: Tero Väisänen 1997.



Kuva 6. Sedimentin happi ja redox-potentiaalimittauksiin VTT:llä kehitetty laitteisto (A ja B). Mikromanipulaattorilla (A) voidaan määrittää tarkasti minielektrodin ($\varnothing \sim 0,5 \text{ mm}$) (C) tai mikroeletrodin ($\varnothing \sim 5 \text{ }\mu\text{m}$) etäisyys sedimentin ja veden rajapinnasta. Mittalaitteistoa voidaan käyttää minielektrodien kanssa maasto-olosuhteissa. Valokuvat: Tero Väisänen 1997.

2.2. Järven ominaispiirteet

2.2.1. Valuma-alue

"Järvi on valuma-alueensa lapsi" – sanonta kuvaa hyvin valuma-alueen merkitystä järven tilaan ja kehitykseen. Valuma-alueen geologia vaikuttaa keskeisesti järveen tulevaan ulkoiseen kuormaan. Topografialtaan jyrkiltä alueilta irtoaa enemmän ja karkeampaa ainesta kuin loivilta alueilta. Karkeampi aines laskeutuu pääosin tulouoman läheisyyteen, kun esimerkiksi suovaltaiselta valuma-alueelta kulkeutuva turvepitoinen liete voi levitä koko järven alueelle. Lisäksi Suomessa vallitsevala ilmastoalueella kevättulva tuo merkittävän osan järveen valuma-alueelta tulevasta aineksestä (Håkanson & Jansson 1983).

Valuma-alueelta järveen tulevaan kuormitukseen vaikuttaa keskeisesti ihmistoiminta. Piste- ja hajakuormitus vaikuttavat suoraan järveen kulkeutuvan aineksen määrään ja laatuun. Tyypillisiä pistekuormittajia ovat teollisuus, yhdyskuntien jätevedenpuhdistamot sekä muut luvanvaraista vesistökuormitusta tuottavat yksiköt. Pistekuormittajilla on pääsääntöisesti tarkkailuvollisuus kuormituksestaan. Tyypillisten hajakuormittajien ominaiskuormitusarvoja on koottu taulukkoon 6.

Taulukko 6. Tyypillisiä ominaiskuormitusarvoja järven ulkoisen kuormituksen määrittämiseksi .

Lähde	Kuormituksen määrä $\text{kg km}^{-2}\text{a}^{-1}$		Kirjallisuusviite
	Fosfori	Typpi	
Luonnonhuuhtouma	3 – 7	70 - 200	Tattari & Linjama 2004
Laskeuma ¹⁾	4 - 26	188 - 1 042	Tattari & Linjama 2004
Peltoviljely	54 - 250	800 - 2 200	Tattari & Linjama 2004
Metsätalous	1 - 105	40 - 770	Kenttämies & Vilhunen 1999
Turvetuotanto	270	1 000	Tattari & Linjama 2004
Karjatalous	0,5 - 1 ²⁾	2,5 - 5 ²⁾	Mattila 2005
Haja- ja vapaa- ajanasutus	2,2 ³⁾	14 ³⁾	Valtioneuvosto 2003 ⁴⁾

¹⁾ Laskeuma suoraan järveen

²⁾ Lasketaan nautayksikköä kohden ($\text{kg ny}^{-1} \text{a}^{-1}$)

³⁾ Lasketaan asukasta kohden ($\text{g as}^{-1} \text{d}^{-1}$)

⁴⁾ Ympäristönsuojelulain 18§:ään valtioneuvoston vuonna 2003 antama asetus talousjätevesien käsittelystä vesihuoltolaitosten viemäriverkoston ulkopuolisilla alueilla.

Valuma-alueelta järveen tuleva kuormitus on syytä arvioida kunnostussuunnittelun alkuvaiheessa. Tyypillisesti tehdään joko kuormitusselvitys tai vesiensuojelusuunnitelma. Kuormitusselvityksellä varmistetaan, että järven kunnostustavoitteet määritellään realistisiksi. Vesiensuojelusuunnitelmassa arvioidaan lisäksi kuinka järveen kohdistuvaa ulkoista kuormitusta voidaan vähentää eri keinoin (Mattila 2005).

2.2.2 Hydrologia

Järven tilaan keskeisesti vaikuttava tekijä on veden vaihtumiseen kuluva keskimääräinen aika eli veden viipymä. Veden viipymä voidaan laskea, kun tunnetaan järven tilavuus ja järven vuotuinen tulovirtaama eli vuodessa järveen tuleva vesimäärä. Vesistöjen latvajärvissä veden viipymä on tyypillisesti pitkä, jopa vuosia. Vastaavasti reittivesistöjen alaosassa olevien samankokoisten järvien veden viipymä voi olla vain viikkoja. Veden viipymän määrittäminen on keskeinen tekijä järven kunnostussuunnittelun alkuvaiheessa eli tavoitteita asetettaessa. Järven veden viipymä on laskennallinen suure ja siten erityisesti suurissa järvissä voi olla lahti- ym. alueita, joiden todellinen viipymä on laskennallista arvoa huomattavastikin pidempi (Eloranta 2005). Kyseisen vesimassan viipymä on erikseen määritettävä, mikäli niille suunnitellaan kunnostustoimenpiteitä.

Järveen tuleva vesimäärä on luonnollisesti riippuvainen valuma-alueelle kohdistuneesta sadannasta ja siitä muodostuvasta valunnasta. Tyypillinen valunta-arvo Suomessa on noin $10 \text{ l km}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Hyvärinen & Korhonen 2003). Suomessa vallitsevalla ilmastovyöhykkeellä pääosa valunnasta tulee keväällä lumien sulaessa, joskin Etelä-Suomessa nk. talvitulvien osuus vuotuisessa vedenkierrrossa on ollut viime vuosina kasvussa.

Pintavalunnan lisäksi järveen tulee vettä usein myös pohjavesivaluntana. Erityisesti harjualueilla olevilla järvillä on järven viipymän määrittämisessä otettava huomioon järveen purkautuvat pohjavedet. Pohjavesien merkityksen määrittäminen järven viipymään edellyttää laajamittaisia selvityksiä pohjaveden muodostumisalueesta, virtaussuunnista sekä purkautumisesta. Esimerkkinä tällaisista kunnostustarpeessa olevista harjualueen järvistä ovat Rokuan alueen järvet (kappale 5). Järven hydrologia on syytä selvittää jo kunnostushankkeen alkuvaiheessa, realististen kunnostustavoitteiden varmistamiseksi.

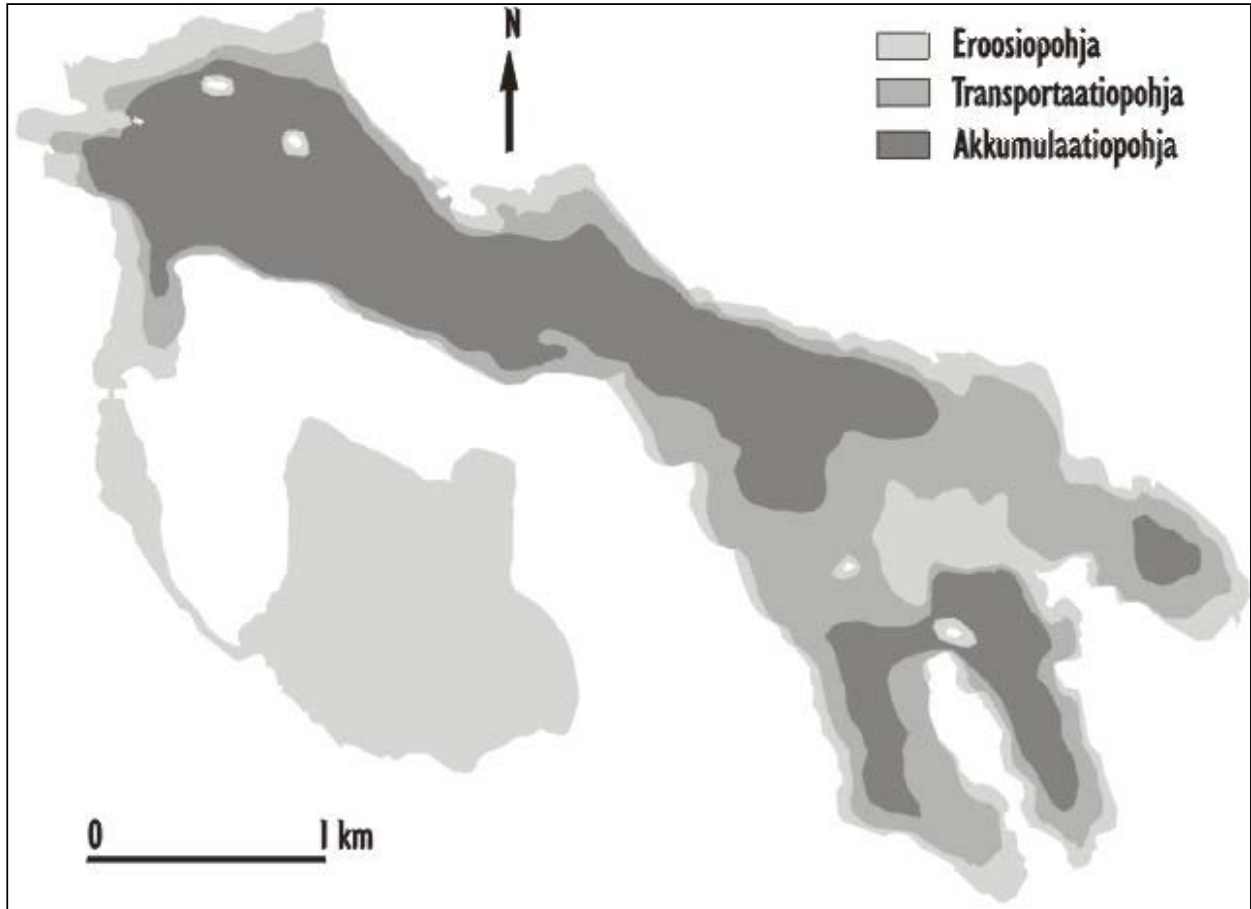
2.2.3. Morfologia

Järven morfologiaan kuuluvat pinta-ala, syvyysuhteet ja eri syvyysvyöhykkeiden tilavuudet sekä rannan rikkonaisuus, kuten saarten ja lahtien määrä. Järven syvyys- ja tilavuussuhteet ovat näistä kunnostuksen kannalta oleelliset (Eloranta 2005). Mikäli järven syvänteen osuus järven vesitilavuudesta on pieni, kannattanee syvänteen sedimentin käsittelyistä kunnostustoimina pidäytyä. Mikäli taas järven syvänteen osuus järven tilavuudesta on suuri, kannattanee kunnostustoimet kohdistaa syvänteen sedimentin käsittelyyn. Järven syvyys- ja tilavuussuhteet on syytä määrittää kunnostuksen lähtötiedoiksi ja arvioida niiden perusteella jo alustavasti kunnostustoimien suuntausta ja tavoitteiden realistisuutta.

Järven muiden morfologisten ominaisuuksien lisäksi on syytä tuntee järven pohjan dynaamiset ominaisuudet. Aallokon aiheuttama eroosio rantavyöhykkeellä riippuu ennenkaikkea tuulen suunnasta, nopeudesta ja kestosta sekä rannan avoimuudesta (tuuli-ala, muoto). Esimerkiksi Ranuan- ja Takajärven sedimentin dynaaminen luokitus on laskettu Håkansonin ja Janssonin (1983) mukaan järven syvyysuhteiden, avoimuuden ym. ominaisuuksien mukaan (kuva 7).

Luonnollisesti myös rantavyöhykkeen materiaali on keskeinen laskeutuvan aineen laatuun vaikuttava tekijä (taulukko 7). Eroosioalueilla hiekkaa hienojakoisemmat sedimentit ovat huuhtoutuneet syvemmälle rannan avoimuudesta ja jyrkkyydestä riippuen. Transportaatioalueilla tavataan vielä kulkeutumassa siltti- ja savipitoisia sedimenttejä, mutta akkumulaatiopohjan alueella pääasiassa vesipitoiset mutasedimentit ovat vallitsevia (Håkansson & Ahl 1976). Avoimuudesta riippumaton tekijä on pohjan kaltevuus. Håkansonin ja Janssonin (1983) mukaan hienojakoiset ainekset eivät pysy stabiileina 4 - 5 % jyrkemmillä alueilla, joita suomalaisissa järvissä on harvoin.

Suomessa on laskettu paljon matalia järviä maatalouden tarpeisiin 1900 -luvun alkupuolella. Nämä lasketut järven muodostavat erityisryhmän, joiden rehevöitymisongelmia arvioidessa on laskettu vesipinta otettava huomioon (Tanskanen, 2002).



Kuva 7. Ranuan- ja Takajärven luokittelu eroosio-, transportaatio- ja akkumulaatiopohjiin laskettuna järven syvyysuhteiden, avoimuuden ym. ominaisuuksien mukaan (Puro ym. 1999).

Hienojakoiset siltti-, savi- ja mutasedimentit ovat herkkiä tuulen aiheuttamalle resuspensiolle. Resuspension arvioimiseksi onkin syytä määrittää järven syvyysuhteet ja tehdä arvio sedimentin laadusta järven eri osissa esimerkiksi sedimentin penetrometrillä (Håkanson & Jansson 1983). Penetrometrissä on kolme eri levyistä ja painoista kartiota. Laite lasketaan sedimentin pinnalle, jolloin kartiot vapautetaan ja ne painuvat sedimenttiin. Tämän jälkeen kartiot lukitaan ja niiden tunkeutumisvyvyys sedimenttiin on mitattavissa. Kunkin kartion tunkeutumisvyvyyden perusteella voidaan arvioida sedimentin ominaisuuksia, kuten vesipitoisuutta ja raekokoa. Samalla arvioidaan myös järvenpohjan dynaamiset ominaisuudet.

Taulukko 7. Sedimenttityyppien luokittelu pohjadynamiikan perusteella (Håkanson & Jansson 1983).

Sedimentti	Pohjan dynaaminen tyyppi	Sedimentin vesipitoi- suus %
Kivet, lohkaaret	Eroosio	0
Somero	Eroosio	≤ 10
Sora, hiekka	Eroosio	10 – 20
Hiekka	Eroosio	20 – 50
Hiekkainen siltti	Transportaatio	50 – 80
Kova savi	Transportaatio	50 – 60
Hienot silttipitoiset sedimentit	Akkumulaatio	75 – 85
Erittäin hienot mutapitoiset sedimentit	Akkumulaatio	85 – 99

2.3. Vesipolitiikan puitedirektiivi kunnostuksen reunaehtona

Euroopan unioni ohjaa alueensa vesivarojen käyttöä ja hoitoa puitedirektiivillä (EU 2000). Tämän puitedirektiivin (vpd) toimeenpano edistää järvien hyvää ekologista tilaa. Mikäli järven kunnostamisen tavoitteet ovat ristiriidassa puitedirektiivin tavoitteiden kanssa, voi tästä muodostua reunaehto järven kunnostamisen tavoitteille. Puitedirektiivin tarkoituksena on:

1. estää vesiekosysteemien huononemista sekä suojella ja parantaa niiden tilaa,
2. edistää kestäväää, vesivarojen pitkän ajan suojeluun perustuvaa vedenkäyttöä,
3. vähentää pohjavesien pilaantumista ja
4. tehostaa vesiensuojelua vaarallisten aineiden päästöjä vähentämällä.

Direktiiviä sovelletaan kaikkiin vesiin, pohjavedet mukaan lukien. Pintavedet tyypitellään jokiin, järviin, jokisuiden vaihtumisalueisiin tai rannikkovesiin sekä keinotekoisiiin tai voimakkaasti muutettuihin pintavesimuodostumiin. Järvien kunnostuksen suhteen vpd:n oleellinen tavoite on järven hyvä ekologinen ja kemiallinen tila, joka tulee saavuttaa vuoteen 2015 mennessä. Järven ekologista tilaa arvioidaan kalaston, vesikasvillisuuden, pohjaeliöstön, kasviplanktonin sekä fysikaalis-kemiallisen vedenlaadun perusteella, mikä korvaa viranomaiskäytössä osittain nykyisen järvien käyttökelpoisuusluokituksen. Tilan arvioinnin jälkeen järvet ensin tyypitellään ja sitten jaetaan viiteen luokkaan (erinomainen – huono) kunkin tyyppin sisällä. Erinomainen ekologinen tila vastaa vertailualueen luonnontilaa. Vesistöaluerajoihin pohjautuvilla vesienhoitoalueille, joita Suomessa on kahdeksan kappaletta, laaditaan toimenpideohjelmat vuoteen 2009 mennessä pintavesien hyvän ekologisen tilan saavuttamiseksi (Ympäristöministeriö 2004).

Keinotekoisiiin ja hydrologialtaan tai morfologialtaan voimakkaasti muutettuihin järviin sovelletaan hyvän ekologisen tilan vaatimuksen sijaan hyvän saavutettavissa olevan ekologisen tilan vaatimusta. Tällöin tavoitteet ovat lievemät kuin fyysisesti lähellä luonnontilaa olevilla vesillä, koska nyt otetaan huomioon ne rajoitukset, joita vesistön fyysinen muuttaminen on aiheuttanut. Keinotekoisia

tai voimakkaasti muutettuja järviä on kuitenkin hoidettava siten, että tavoitteena on paras saavutettavissa oleva ekologinen tila.

Vpd:ssä on mainittu vesieliöstölle vaaralliset aineet eli nk. prioriteettiaineet. Mikäli prioriteettiaineita esiintyy, heikkenee vesistön ekologisen tilan luokitus. Prioriteettiaineita voi joutua veteen erityisesti järven lähivaluma-alueen ja pohjasedimentin kunnostuksen yhteydessä, kuten esimerkiksi Kymijoella.

Järvien kunnostuksen tavoitteisiin vaikuttaa myös direktiivin nk. yhdistetty lähestymistapa, jonka periaatteita noudattaen rajoitetaan piste- ja hajakuormituksen päästöjä vesiin. Lähestymistavan mukaan päästöjä rajoitetaan toisaalta kuormitusta koskevien direktiivien mukaisesti, toisaalta ympäristölle asetettavia laatunormeja noudattaen. Yhdistetty lähestymistapa helpottaa järveen tulevan kuormituksen, erityisesti luvanvaraisen kuormituksen saattamista järven sietokyvyn edellyttämälle tasolle. Lisäksi vpd:iin on kirjattu hoitokustannusten maksuperiaatteeksi ”pilaaja maksaa”, mikä helpottaa ainakin teoriassa kustannusten jakoa.

Järven hyvän ekologisen ja kemiallisen tilan vaatimus on pääosin yhdensuuntainen ihmisenäkökulman mukaisen käyttökelpoisuuden lisäämisen kanssa. Tavoitellaanhan järven hyvällä ekologisella ja kemiallisella tilalla olosuhteita, jossa ihmisen toiminta on aiheuttanut vain vähän muutoksia luonnontilaan. Toisaalta direktiivin tavoitteet voivat olla ristiriidassa järven eri käyttömuotojen kanssa. Mikäli järvi on valuma-alueen ominaisuuksien vuoksi luontaisesti rehevä ja sen eliöstössä on vain vähäisiä muutoksia luonnontilaan verrattuna, järven ekologinen tila luokitellaan hyväksi. Vpd:n perusteella kunnostuksia ei tällöin tarvita. Joissakin tapauksissa kunnostus voisi jopa muuttaa järveä vpd:n tavoitteiden vastaisesti. Vpd ei kuitenkaan estä luontaisesti rehevän järven virkistyskäytön mukaista kunnostusta, mikäli hyvä ekologinen tila säilyy. Myöskään fyysisesti muutettua järveä ei tarvitse palauttaa luonnontilaan. Esimerkiksi moni aiemmin laskettu järvi on arvokas lintujärvi, jolla nykytilassaan suojelu- ja luontoarvoja.

2.4. Luontoarvot kunnostuksen reunaehtona

Kunnostushankkeen tavoitteiden asettelussa on otettava huomioon myös luonnonsuojelu. EU:n lintudirektiivi, luontodirektiivi, YVA-direktiivi ja SOVA-laki ovat osaltaan kunnostustoimintaa ohjaavia direktiivejä ja lakeja, joissa suojelun tavoitteena on suojelualueen monimuotoisuuden, biologisen ja toiminnallisen kokonaisuuden suojelu. Luonnonsuojelulain mukaiset luontotyytit, eliölajit ja Natura 2000 verkosto on myös otettava huomioon kunnostushankkeissa samoin kuin vesilaissa mainitut pienvedet. Luontoselvitysten ja erityisesti luontovaikutusten arvioimiseksi on laadittu käsikirja, minkä mukaan myös kunnostustoiminnan vaikutukset luontoarvoihin tulisi arvioida (Söderman 2003).

Toimenpiteiden vaikutusalueen luontotyytit on käytävä lähes kategorisesti läpi, mutta erityisesti järvenranta- ja tulvaniityt ovat keskeisiä järvikunnostuskohteiden yhteydessä. Lisäksi on selvitettävä, miten kunnostus vaikuttaa uhanalaisten, rauhoitettujen ja tiukasti suojeltujen lajien elinmahdollisuuksiin. Eritystä huomiota tulee kiinnittää rantaniittyjen ja kosteikkojen kasvillisuuteen ja linnustoon (Vainio 2001).

Järven kunnostaminen voi myös edistää luonnonsuojelua. Kunnostustoimin voidaan parantaa luontotyytin tai lajin säilymisen edellytyksiä. Tällöin kunnostuksen ja luonnonsuojelun tavoitteet on sovittava yhteen tai ainakin toimittava siten, ettei suojeltavalle kohteelle aiheudu kohtuutonta haittaa. Lisäksi kunnostushankkeen yhteydessä voidaan parantaa ihmisten tietoisuutta oman alueen erityispiirteistä ja hyödyntää näitä erityispiirteitä esimerkiksi luontomatkailun muodossa (Vainio 2001).

2.5. Rehevän järven ongelmat ja kunnostaminen

Järven rehevöityminen käynnistyy, kun siihen kohdistunut ulkoinen kuormitus ylittää järven kuormituksen siedonkyvyn. Jo luontainen, ihmistoiminnasta riippumaton, kuormitus voi käynnistää rehevöitymiskehityksen (kuva 1). Järven sedimentti toimii normaalioloissa tasapainottavana puskurina kuormitusta vastaan ja sedimentin hajotustoiminta pystyy käsittelemään tulevan kuormituksen. Rehevän järven keskeinen ongelma on siis se, ettei sedimentti pysty hapellisesti hajottamaan liian isoa ulkoista kuormitusta. Sedimenttiin kertyvästä ulkoisesta kuormituksesta kehittyy ajan myötä järven sisäinen kuormitus.

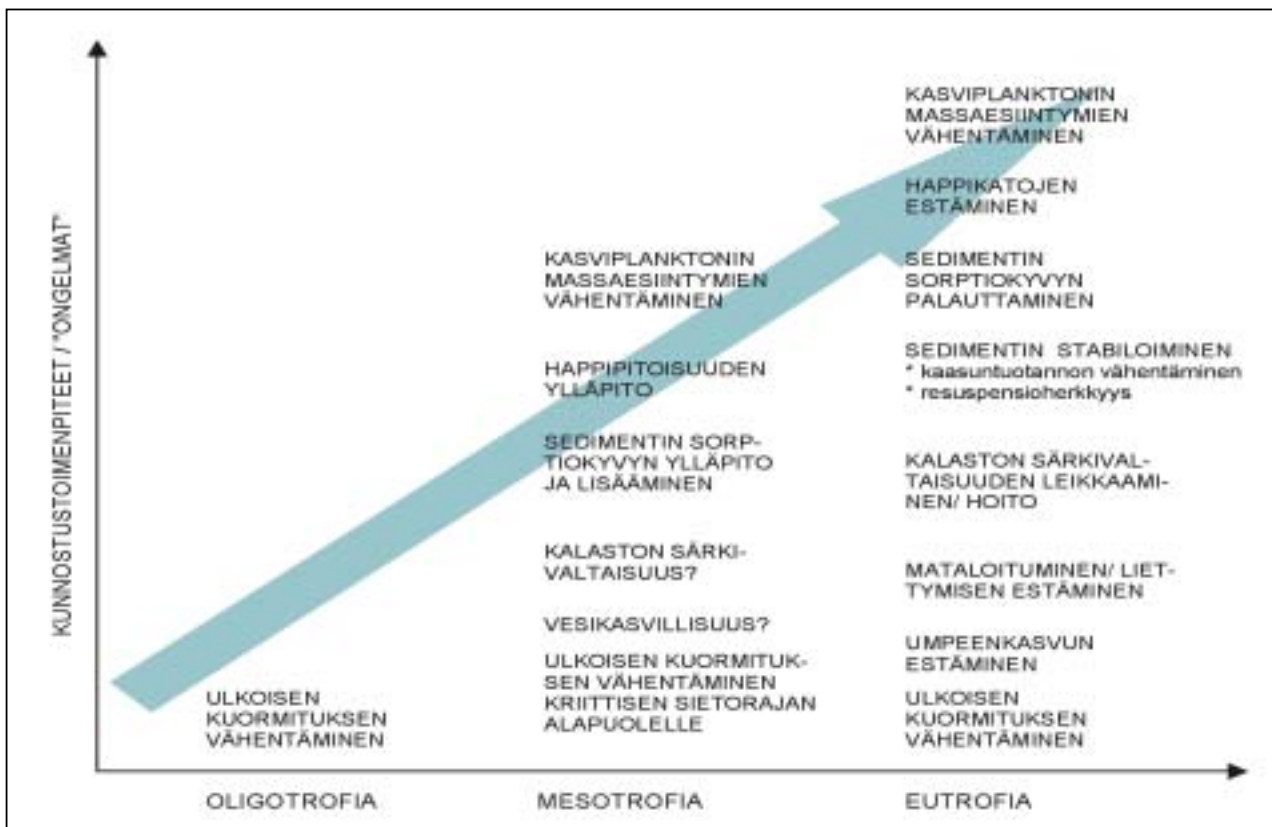
Järven korkea kuormitus – sisäinen ja ulkoinen - näkyy vedenlaadussa ja biologisen toiminnan aktiivisuudessa. Fosforin ja muiden aineiden kierto järvessä nopeutuu ja sen myötä perustuotanto (aklorofylli) sekä myös muu järven tuotanto (vesikasvit ja kalat) lisääntyy. Myös hajotustoiminta ja sedimentin kaasuntuotanto lisääntyvät ja sen myötä ilmenee happikatoja. Aistinvaraisesti arvioiden rehevöityminen näkyy muutoksena veden laadussa, mm. sameuden ja erilaisten hiukkasten määrän kasvuna, verkkojen ja rantakivien limoittumisena sekä leväkukintoina. Näistä rehevöitymisen ilmiöistä on haittaa järven virkistyskäytölle ja useissa kunnostushankkeissa näitä haittoja halutaan poistaa, vähentää tai edes hieman hillitä.

Järven rehevöitymiskehityksen edetessä järven kunnostettavat ongelmat lisääntyvät ja monimutkaisuudet (kuva 8). Karuissa järvissä yleensä riittää ulkoisen kuormituksen vähentäminen, kun taas rehevissä järvissä ulkoisen kuormituksen vähentämisellä ei päästäne kunnostuksen tavoitteisiin. Rehevissä järvissä kunnostustoimenpiteitä kohdistetaan sedimenttiin, veteen ja kalastoon järven tilan parantamiseksi. Usein yksittäiset toimenpiteet eivät tuo pysyvää parannusta järven tilaan ja siksi

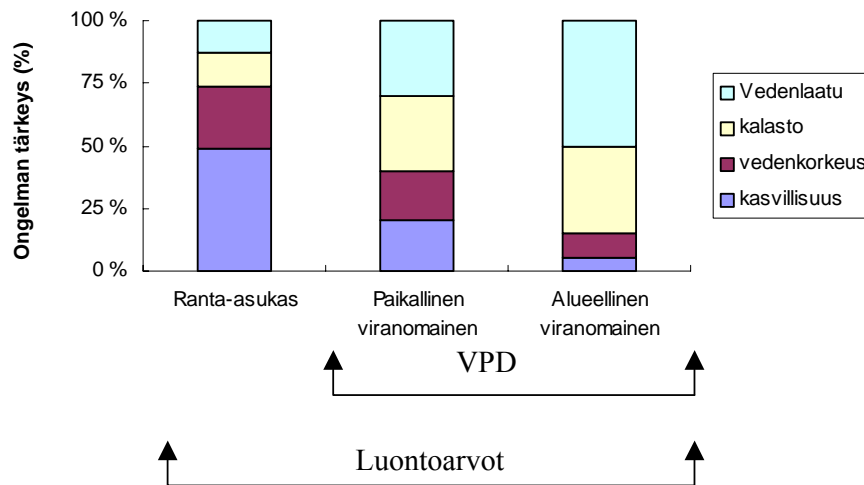
rehevän järven kunnostaminen on pitkäjänteistä ja monivaiheista työtä. Reheviin järviin kohdistuvaa ulkoista kuormitusta on lähes poikkeuksetta vähennettävä radikaalisti, jotta kunnostustoiminnan vaikuttavuus paranee.

Alueen asukkaat tuovat oman lisänsä rehevän järven kunnostamiseen. Usein järven kunnostushankkeita käynnistettäessä tai kunnostusaloitteita laadittaessa paikalliset näkemykset järveä vaivaavista ongelmista ovat erilaiset kuin viranomaisten näkemykset (kuva 9). Viranomaistoimintaa ohjaavat direktiivit, lait ja asetukset, jotka vaikuttavat niin viranomaisten myöntämään rahoitukseen kuin lupiinkin. Erityisesti luontoarvojen ja hyvän ekologisen tilan vaaliminen on viranomaisten tehtäviä.

Kunnostushankkeen tuloksellisuuden varmistamiseksi on kunnostushankkeelle valittava realistinen tavoite sekä sopivat kunnostusmenetelmät. Tässä työssä esitettävää kunnostusmenetelmän valintaprosessia voidaan kutsua poissulkevaksi ja perustelevaksi prosessiksi. Järvikunnostuksen asiantuntija esittelee ranta-asukkaille perustellun arvion hankkeen realistisuudesta sekä kunnostusmenetelmien sopivuudesta tai sopimattomuudesta kyseiseen kohteeseen. Tällä prosessilla voidaan viranomaisten ja asukkaiden välistä keskustelua parantaa, näkemyksiä lähentää ja tuoda hankkeeseen jo suunnitteluvaiheessa asukaslähtöisyyttä.



Kuva 8. Rehevoituvan järven ongelmat ja niiden kehityssuunta ilman kunnostustoimenpiteitä (Väisänen & Kuusela 2002).



Kuva 9. Periaatepiirros rehevää järveä vaivaavista ongelmista ranta-asukkaiden sekä paikallisten ja alueellisten viranomaisten näkemänä. Kuvan prosenttiluvut ovat suuntaa antavia, eli niitä ei ole laskettu haastattelu- tai muista tutkimuksista (Saarijärven 2001, Väisänen & Kuusela 2002).

3. Rehevän järven sisäinen kuormitus

3.1 Sisäisen kuormituksen käsite

Järveen tuleva ulkoinen kuormitus päättyy lopulta jossain muodossa järven sedimenttiin, mikäli se ei poistu järvestä veden ulosvirtauksen tai kalastuksen kautta. Sedimentoituvaa ainesta muodostuu ulkoisen kuormituksen lisäksi myös järven sisäisistä prosesseista. Kuollut kasvi- ja eläinplankton sekä bakteerit laskeutuvat järven pohjaan muodostaen hienojakoista sedimenttiä. Suurkasvillisuuden jätteet kerrostuvat suurina määrinä rantavyöhykkeelle, erityisesti matalissa järvissä. Järven pohjalle laskeutuvan autoktonisen eli sisäsyntyisen aineksen määrä riippuu keskeisesti vesistön rehevyyssasteesta (Wetzel 1983).

Järven sisäinen kuormituksen aikana sedimenttiin jo sitoutuneet ravinteet vapautuvat uudelleen yläpuoliseen veteen. Sedimentin ja veden välinen ainevirta on kaksisuuntainen. Pääosin kevään ja syksyn täyskiertojen aikana sedimenttiin sitoutuu fosforia. Vastaavasti talvi- ja kesäkerrostuneisuuden aikaan rehevän järven sedimenttiin muodostuu pelkistyneet olosuhteet ja fosforia vapautuu yläpuoliseen veteen. Sedimentin jatkuva fosforinsidontakyky on siis pelkistetyksi "terveen" järven merkki ja sisäinen kuormitus rehevyydestä "sairastuneen" järven ongelma. Sisäinen kuormitus voi olla jopa yli 98 % järven veteen tulevasta vuotuisesta fosforikuormasta, kuten esimerkiksi Rokuanjärvellä (Saarijärvi ym. 2003).

Järven sisäisen kuormituksen määrittäminen on tehty pääosin jäännöstekijämallilla (Lappalainen & Matinvesi 1990). Mallissa sisäinen kuormitus määritellään jäännöstekijänä järveen tulevan, järvestä lähtevän ja järvessä kiertävän fosforin perusteella kaavasta:

$$UK + SK = LP + KP + BS + dP/dt \quad (1) \text{ missä,}$$

UK = Ulkoinen fosforikuormitus

SK = Sisäinen fosforikuormitus

LP = Järven luusuasta poistuva fosfori

KP = Kaloissa poistuva fosfori

BS = Bruttosedimentaatio

dP/dt = Järven veden fosforitaseen muutos

Kaavassa UK, LP, KP ja dP/dt ovat mitattavia tai eri tavoin määritettäviä suureita. Bruttosedimentaatio tarkoittaa käytännössä kiintoaineeseen sitoutuneen fosforin sadantanopeutta sedimenttiin tai kiertonopeutta järvessä. Bruttosedimentaatiota voidaan mitata laskeutuvan aineksen keräimillä

(Mäkelä ym. 1992), joskin mitattujen bruttosedimentaatioarvojen sijoittaminen suoraan kaavaan yliarvioi sisäisen kuormituksen. Suomalaisissa tyypillisesti matalissa järvissä huomattava osa bruttosedimentaatiossa laskeutuvasta aineksesta palautuu lähes välittömästi eri vapautumismekanismeihin (tuuli- ja kaasuresuspensio, lämpötilakonvektio sekä bioturbaatio) takaisin vesirungon kiertoon. Taselaskelmien kannalta oleellista on, mikä osa bruttosedimentaatiosta sedimentoituu pidemmäksi aikaa. Tätä osaa sedimentaatiosta kutsutaan nettosedimentaatioksi. Nettosedimentaation määrä on riippuvainen järven morfologisista ominaisuuksista ja siksi sen arvioimiseksi ei ole voitu luoda yleistä laskentaohjetta. Håkanson ja Peters esittivät (1995) nk. tehollisen bruttosedimentaation (BS_T) käsitteen, missä mitattu bruttosedimentaatio kerrotaan akkumulaatiopohjan (Håkansson & Jansson 1983) pinta-alan suhteella järven pinta-alaan. Saarijärvi ja Lappalainen (1999) esittivät nk. bruttosedimentaation biologisesti aktiivisen osan (BS_B). Bruttosedimentaatiosta otetaan laskentaan mukaan vain laskeutuvan aineksen helposti mineralisoituva osa, jota voidaan yksinkertaistaen kuvata laskeutuvan aineksen hehikutushäviönä. Vaikka taselaskennassa käytettävään bruttosedimentaation käsitteeseen liittyy vielä käytännön ongelmia niin yleisesti voidaan sanoa, että kasvanut bruttosedimentaation arvo liittyy kasvaneeseen sisäiseen kuormitukseen. Sisäisen kuormituksen laskennassa kannattanee jatkossa käyttää bruttosedimentaatioarvoina sekä BS_T :tä ("morfologinen korjaus") että BS_B :tä ("perustuotannon mukainen korjaus") ja laskea näin sisäisen kuormitukselle vuosiarvion vaihteluväli (Tanskanen ym. 2000).

Jäännöstekijämallissa laskelmat tehdään kokonaisfosforipitoisuuksien vuositasena ja se antaa kuvan järvessä vallitsevasta kuormitustilanteesta. Laskelmien perusteella voidaan arvioida tuleeko kunnostustoimet kohdistaa järveen vai valuma-alueelle. Kun järvessä vallitsee sisäisen kuormituksen tila, on kunnostuksen kannalta ensiarvoisen tärkeää tietää sisäisen kuormituksen keskeisin vapautumismekanismi talvi- ja kesäkerrostuneisuuden aikana. Tällöin voidaan järveen kohdistuvia, sisäistä kuormitusta hillitseviä kunnostustoimia kohdentaa oikeaan vapautumismekanismiin (kuva 4).

3.2. Sisäisen kuormituksen mekanismit ja niiden suuruuden arviointi

3.2.1. Fosforin diffuusio

Diffuusio kuvaa ainevirtaa väkevämmästä konsentraatiosta laimeampaan konsentraatioon. Rehevässä järvessä voi diffuusion avulla sedimentin hapettomasta kerroksesta hapelliseen kerrokseen tulleiden pelkistyneiden yhdisteiden, kuten metaanin, fosfaatin, ammonium, raudan ja sulfidin, hapettuminen vastata kirjallisuustietojen mukaan jopa 75 % koko sedimentin hapenkulutuksesta (Sommarlund ym. 1998).

Fosforin diffuusio on rehevissä järvissä yksi sisäisen kuormituksen vapautumismekanismeista. Sedimentissä huokosveden liukaisen fosforin pitoisuus on pääsääntöisesti väkevämpi kuin sedimentin yläpuolisen veden liukoinen fosforipitoisuus. Tämä pitoisuusero pyrkii tasoittumaan ja aiheuttaa fosforivuon sedimentistä yläpuoliseen veteen. Fosforivuon suuruuteen vaikuttaa pitoisuusero, lämpötila, sedimentin huokoisuus (porositeetti) sekä "huokoisuuden mutkaisuus" (tortuositeetti) ja sen suuruus voidaan laskea Fickin I lain mukaisesti seuraavasti (Berner 1980):

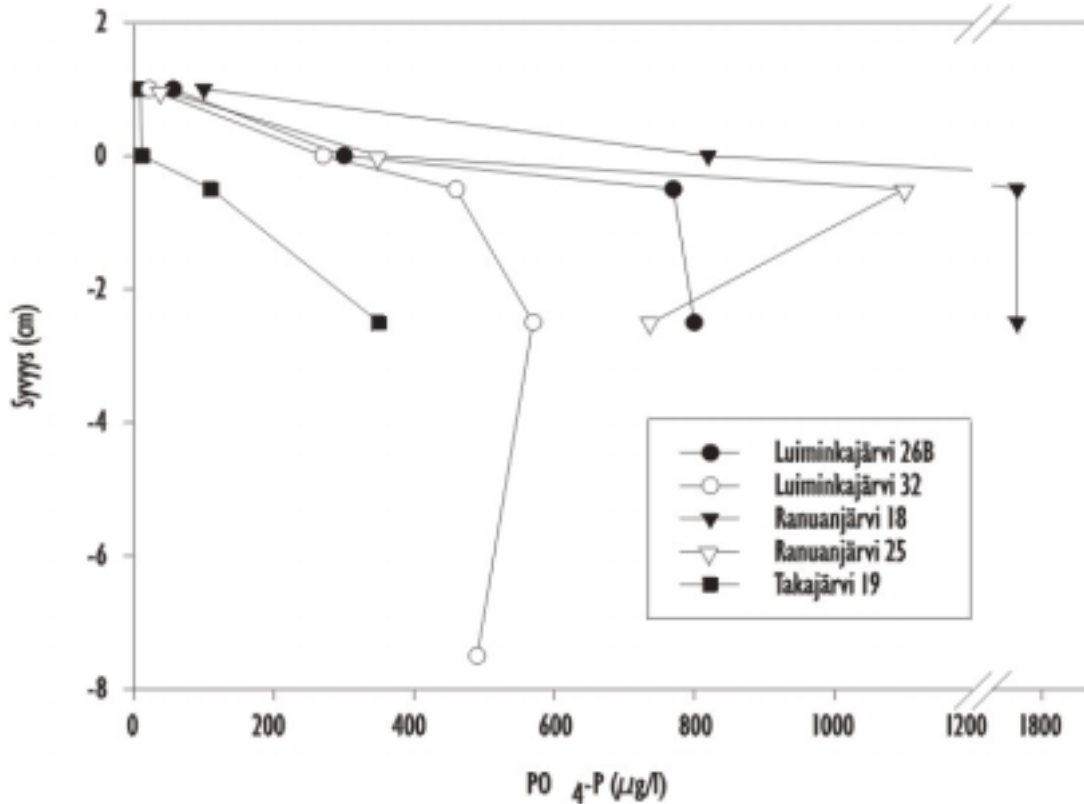
$$J(PO_4 - P) = \left(\frac{D(o) * \phi}{\Theta^2} \right) * \frac{dc}{dx}$$

(2), missä

$D(o) =$	diffuusiokerroin ($PO_4\text{-P} / 0,3 \text{ cm}^2 \text{ d}^{-1}$)
$\phi =$	porositeetti (huokoisuus / $0,7 - 0,9$)
$\Theta^2 =$	tortuositeetti ("huokoisuuden mutkaisuus" / $1 - 1,4$)
$dc =$	konsentraatio ero
$dx =$	etäisyys sedimentin pinnasta
$J(PO_4\text{-P}) =$	fosfaattivuo sedimentistä veteen

Boers ja Hesén (1988) hollantilaisella Loosdrecht-järvellä tekemien tutkimusten mukaan fosfaattifosforin diffuusiokerroin on suuruusluokkaa $0,3 \text{ cm}^2 \text{ d}^{-1}$. Diffuusiokerroin kasvaa lämpötilan kasvaessa, mutta Suomessa tyypillisissä $5 - 15 ^\circ\text{C}$ lämpötiloissa em. diffuusiokerrointa voidaan käyttää kokonaisvirheen merkittävästi kasvamatta. Sedimentin porositeetin ja tortuositeetin arvoina on käytetty Sweertsin (1990) kokoamia arvoja erityyppisille sedimenteille. Rehevien järvien sedimentissä (Gyttja-type) on tyypillisesti runsaasti orgaanista ainesta ja niiden porositeetti vaihtelee välillä $0,7 - 0,9$. Tortuositeetin neliö vastaavasti vaihtelee välillä $1,0 - 1,4$ sedimentin laadusta riippuen. Puhdasta veden tortuositeetin neliön arvo on 1. Fosfaattipitoisuuden kulmakerroin eli dc/dx saatiin laskeksi sedimentin huokosvesinäytteenotossa kerätystä aineistosta. Hellsten ja Väisänen (1998) ovat kuvanneet sedimentti- ja huokosvesinäytteenoton yksityiskohtaisesti.

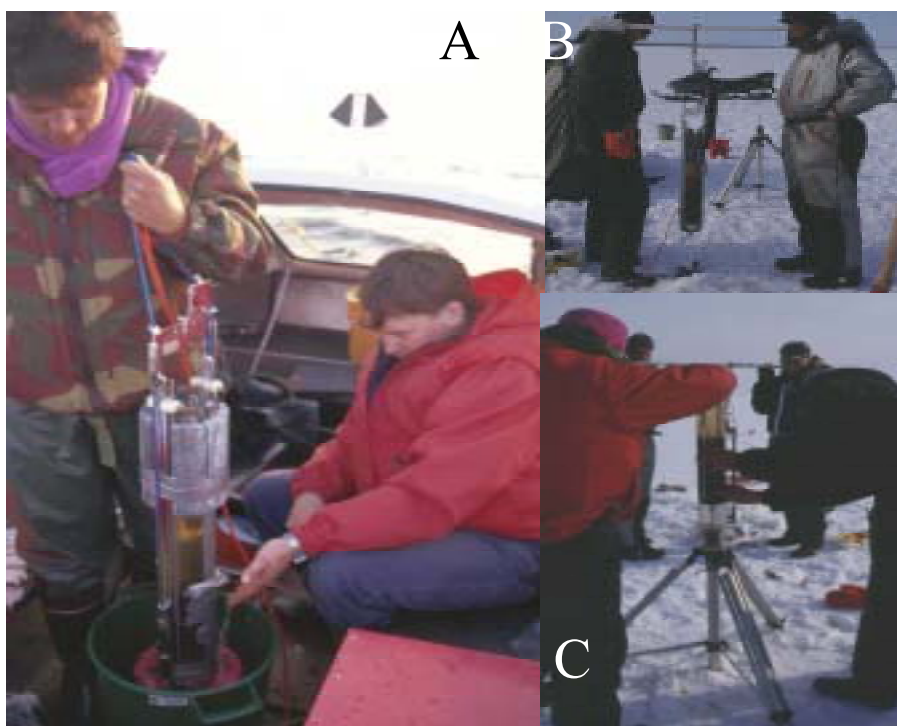
Ranuan järvien tutkimusten yhteydessä määritettiin kolmen rehevöityneen järven sedimentin fosfaattifosforipitoisuudet (kuva 10) sekä laskettiin niistä fosfaattivuot sedimentistä yläpuoliseen veteen (taulukko 8) (Puro ym. 1999). Ranuan järvissä sedimenttinäytteet otettiin Limnos näytteenottimella yhtenäiseen putkeen ja viipaloitiin osanäytteiksi VTT:llä kehitetyssä sedimentin viipalointi- ja tutkimuspöydällä maasto-oloissa. Tämän jälkeen osanäytteiden huokosvesi suodatettiin ($0,47 \mu\text{m}$) VTT:llä rakennetulla painesuodatuslaitteistolla (kuvat 11 -13).



Kuva 10. Ranuanjärvien sedimentin ja sen yläpuolisen veden fosfaattifosforipitoisuudet (Puro ym. 1999). Luiminkajärven ja Ranuanjärven kaksi havaintopaikkaa kuvaavat järvien erillisiä syvännelueita. Näytteenottopaikkojen numerointi noudattaa Lapin ympäristökeskuksen seurantojen mukaista numerointia.

Taulukko 8. Ranuan järvien sedimentin fosfaattivuon arvot, laskettuna kaavan (1) mukaisesti ja tekstissä esitettyjen arvojen mukaisesti (Puro ym. 1999).

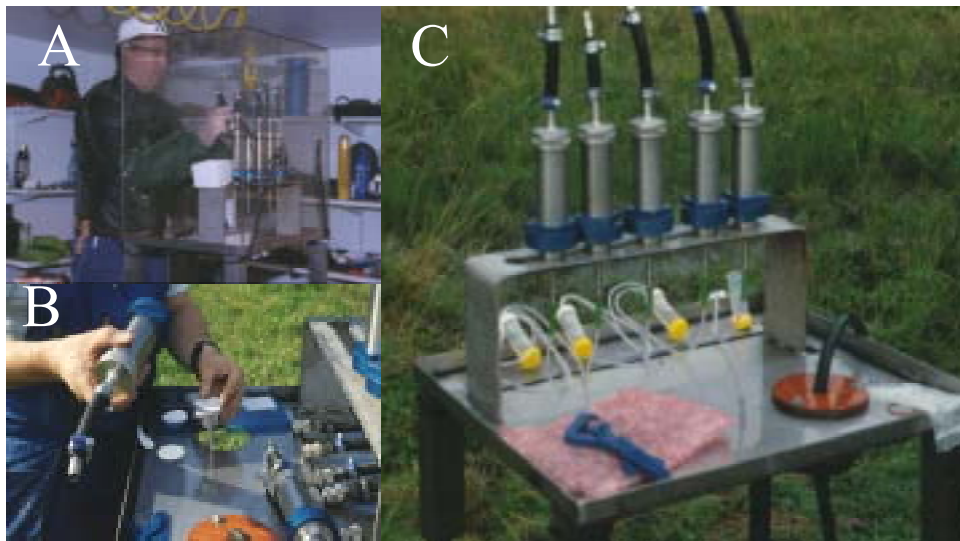
Havaintopaikka	Fosfaattivuo mg m ⁻² d ⁻¹
Luiminkajärvi 26B	5,8
Luiminkajärvi 32	2,3
Ranuanjärvi 18	10,8
Ranuanjärvi 25	9,2
Takajärvi 19	0,3



Kuva 11 Limnos-näytteenottimella otettu sedimenttinäyte avoveneessä (A) ja talvella jäällä (B) sekä sedimentin silmämääräinen tarkastelu (C). Valokuvat Seppo Hellsten (A) 1994 ja Raimo Ihme (B, C) 1996.



Kuva 12. Sedimenttinäytteen viipalointi osanäytteisiin. Yhtenäiseen näyteputkeen otetun näytteen viipalointi (A) sekä viipaloivasta näyteputkesta otetun näytteen pussittaminen (B). Valokuvat Raimo Ihme (A) 1997 ja Tero Väisänen (B) 1995.



Kuva 13. Sedimentin huokosveden erottamiseen VTT:llä rakennettu painesuodatuslaitteisto (C). Sedimentti voidaan viipaloida ja huokosvesi erottaa hapettomissa olosuhteissa (glovebox) (A) sekä suodattimet huoltaa (B) myös maasto-olosuhteissa. Valokuvat Seppo Hellsten (A) 1995 ja Tero Väisänen (B ja C) 1997.

Lasketut Ranuan- ja Luiminkajärven sedimenttien fosfaattifosforivuot olivat suuruusluokaltaan rehevien ja kesällä kerrostuvien järvien fosfaattivuovarvojen tasolla (Boers & Hese 1988, Suoraniemi ym. 1996). Takajärven alhaista fosfaattivuota selittää järven mataluus ja tuuliresuspensioherkkyys. Matalan, tuuliresuspensioherkän järven pintasedimentti hapettuu erittäin tehokkaasti ja siten hillitsee pelkistyneiden yhdisteiden diffuusiota (Gähter & Mayer 1993).

Diffuusion osuutta sisäisen kuormituksen mekanismina on arvioitu mm. Siilinjärven Kevätönjärvellä tehtyjen maasto- ja laboratoriotutkimusten yhteydessä (Tanskanen ym. 2000). Diffuusion laskennallinen osuus oli noin 44 % koetilanteessa hapettomissa olosuhteissa mitatusta vapautuvasta fosforista. Tulos saatiin laboratorioskoejärjestelyllä, jossa kalojen aiheuttamaa bioturbaatiota ei ollut mukana arvioinnissa. Mutta koejärjestelyssä pystyttiin muuttamaan virtausolosuhteita ja mallintamaan resuspensiota. Vastaavasti Ranuanjärvellä diffuusion osuus sisäisestä kuormituksesta oli laskennallisesti 40 – 80 % .

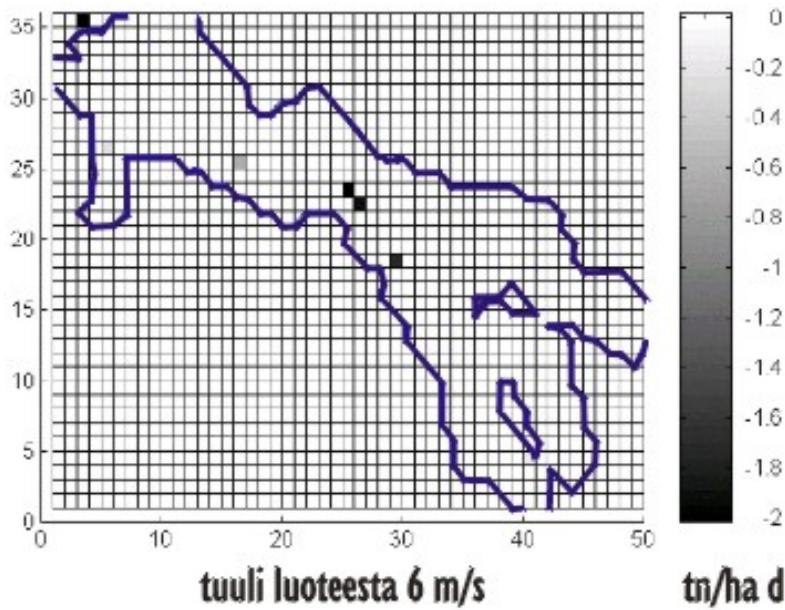
3.2.2. Resuspensio

Tuulen nostamat aallot ja virtaukset voivat sekoittaa matalan järven löyhää sedimenttiä veteen. Tämä ilmiö on resuspensio. Resuspension merkitystä järven sisäiseen kuormitukseen voidaan arvioida suoraan tuuli-, sameus- ja ravinnemittauksin, mutta Resuspension merkitys voidaan myös mallintaa (Huttula 1994, Juntura 1994). Aallokon aiheuttama resuspensio riippuu järven syvyys-suhteista, pohjan laadusta, tuulen suunnasta, tuulen nopeudesta ja tuulen kestosta sekä järven avoimuudesta.

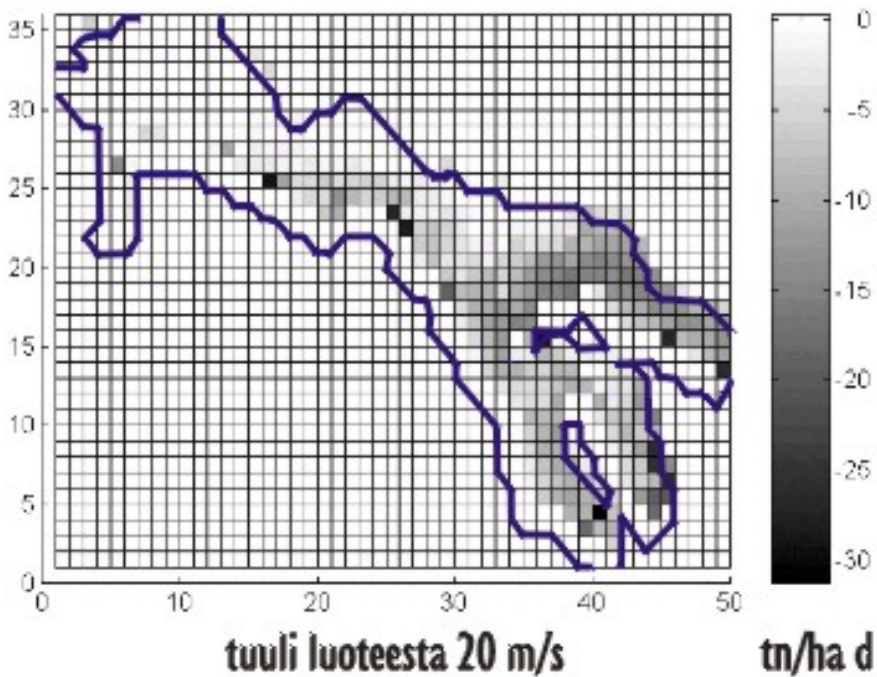
ta (tuuliala, muoto) (Håkansson & Jansson 1983). Aallot ovat tuulen suuntaan etenevää kehävirtausta. Kehävirtaus ulottuu noin kaksi kertaa aallonpituuden syvyydelle irrottaen lähinnä hienojakoista sedimenttiä. Resuspensio lisää vedessä kiertävän kiintoaineksen määrää (sameus) ja heikentää osaltaan järven käyttökelpoisuutta. Kiintoaineeseen sitoutuneen fosforin määrä kasvaa, mutta tuuliresuspension merkityksestä liukoisten ravinteiden määrään on ristiriitaista tutkimustietoa.

Resuspension sekoittaessa löyhän ja hienojakoisen sedimentin pintakerrosta, sekoittuu myös pinta-kerroksen huokosvesi yläpuoliseen veteen. Tämän ilmiön merkitys on kuitenkin yleensä vähäinen, sillä resuspensioherkän järven sedimentin huokosveden fosfaattipitoisuudet ovat alhaisia, kuten Ranuan Takajärvessä (kuva 10) (Lijklema 1993). Oleellinen kysymys onkin, mitä prosesseja kiintoainepartikkeleissa tapahtuu niiden resuspendoituessa sedimentistä yläpuoliseen veteen. Aiemman käsityksen mukaan resuspensio olisi tehokas ravinteiden siirtäjä sedimentistä yläpuoliseen veteen (Lappalainen & Matinvesi 1990). Kuitenkin kiintoaineksen mukana yläpuoliseen veteen siirtyi lähinnä epäorgaanisessa muodossa olevaa fosforia. Epäorgaaninen fosfori liukenee partikkeleista, mikäli veden pH on korkea esimerkiksi leväkukinnon vuoksi (Kettunen 1980). Koski-Vähälän ja Hartikaisen (2000) mukaan resuspendoituneet sedimenttipartikkelit ovat lähinnä liukoisen fosforin sitojia. Happirikkaassa pintavedessä partikkelit sitovat liukoista fosforia suuriakin määriä, aina tasolle 1,6 mg fosforia grammaa tuoretta sedimenttiä kohden. Tutkimuksen mukaan resuspendoituneista sedimenttipartikkeleista voisi vapautua hapellisessa pintavedessä liukoista fosforia, mikäli veden liukoisen fosforin pitoisuus olisi tasolla $5 \mu\text{g l}^{-1}$. Koski-Vähälän ja Hartikaisen (2000) tutkimukset on tehty Tuusulanjärvestä ja Lahden Vesijärvestä otetuilla sedimenttinäytteillä. Koski-Vähälä (2001) on arvioinut resuspendoituvan materiaalin määräksi 56 – 99 % järveen sedimentoituvasta aineksesta. Tämä suuruusluokka-arvio kuvaa resuspension merkitystä aineksen kierrättäjänä rehevissä järvissä.

Ranuanjärvestä tuulen vaikutuksesta resuspendoituvan aineksen määrää mallinnettiin resuspension merkityksen arvioimiseksi (kuvat 14 - 15). Ranuanjärvestä resuspension merkitys vuotuisen sisäisen kuormituksen lähteenä arvioitiin vähäiseksi järven morfologisten ominaisuuksien perusteella. Kuitenkin voimakkaimmat tuulet irrottivat sedimenttiä myös syvänealueiden reunamilta. Resuspensio lisäsi veden kokonaisfosforipitoisuuksia, mutta liukoisten ravinteiden määrää sillä ei ollut näkyvää merkitystä (Puro ym. 1999).



Kuva 14. Ranuanjärven resuspentoituvan aineksen määrä tuulen ollessa luoteesta 6 m s^{-1} (Puro ym. 1999).



Kuva 15. Ranuanjärven resuspentoituvan aineksen määrä tuulen ollessa luoteesta 20 m s^{-1} (Puro ym. 1999).

Järven tuuliresuspensioherkkyys on lähes täysin riippuvainen järven morfologisista ominaisuuksista sekä rantojen avoimuudesta ja siten järven alttiudesta tuulille. Alankomaissa on tuulen aiheuttamaa resuspensiota hillitty rakentamalla tekosaaria sekä erityyppisiä kelluvia aallonmurtajia (Liere & Janse, 1992). Vastaavia rakenteita voisi kokeilla myös Suomessa matalien ja rehevien järvien virkistyskäyttöarvoa parantamaan. Nämä rakenteet eivät kuitenkaan poista varsinaista ongelmaa, joka

on huonolaatuinen sedimentti. Resuspension pintasedimenttiä hapettavan vaikutuksen pienentyessä lisääntyy sedimentissä orgaanisen aineksen hapeton hajoaminen. Tällöin pelkistävässä oloissa vapautuu veteen fosforia ja kaasuja. Resuspension menettäessä merkityksensä fosforin vapautumismekanismina, alkaa ravinteiden diffuusion sekä kaasukonvektion merkitys voimistua. Ilmiö on havaittu mm. eteläsuomalaisella Rusutjärvellä.

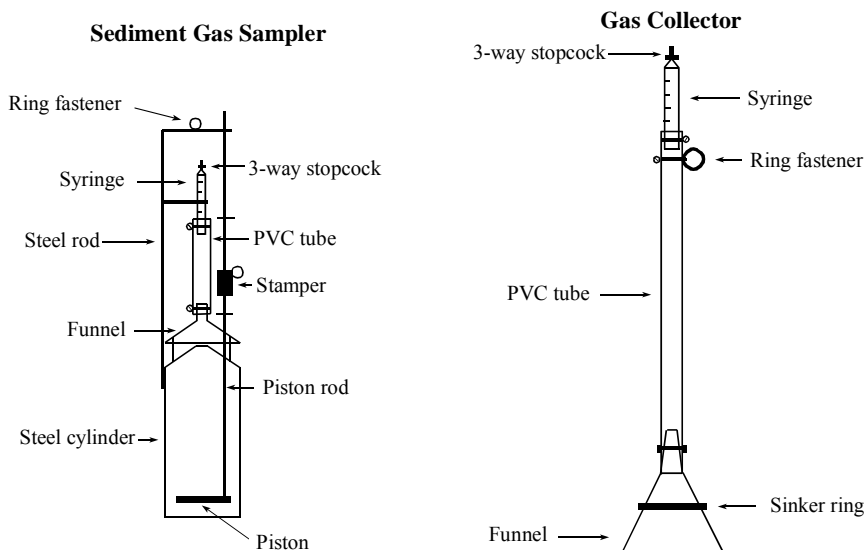
3.2.3. Kaasukonvektio

Sedimentissä muodostuu orgaanisen aineksen hajoamisen myötä kaasuja; hiilidioksidia (CO_2), typpeä (N_2), typpioksiduulia (N_2O) sekä metaania (CH_4) (kuva 3). Järven rehevöitymisen myötä kaasuntuotanto kiihtyy. Voimakas kaasuntuotanto, erityisesti metaanintuotanto kuvastaa voimakkaasti pelkistäviä olosuhteita sedimentissä (Huttunen ym. 2005). Tällöin on järven rehevöitymiskehitys edennyt jo niin pitkälle, ettei ilman sedimenttiin kohdistuvia kunnostustoimenpiteitä voida tehdä muuta kuin vähentää rehevöitymisestä aiheutuvia ongelmia.

Kaasukonvektio on sedimentissä muodostuneiden kaasujen vapautumista yläpuoliseen veteen ja edelleen ilmakehään. Kaasuista erityisesti metaani muodostaa kuplia, joiden purkautuessa sedimentistä ne kaappaavat kiintoainepartikkeleita mukaansa (Chanton & Whiting 1995). Tätä ilmiötä kutsutaan mikroflotaatioksi. Kaasukuplat kuljettavat partikkelit pintaveteen ja kuplien hajotessa partikkelien sedimentoituminen käynnistyy. Mikroflotaatio on siis resuspension ohella mekanismi, millä kiintoainepartikkelit sekoittuvat vesimassaan. Kaasunmuodostus myös löyhdyttää sedimenttiä, jolloin se on herkkä häiriintymään ja sekoittumaan yläpuoliseen veteen pienestäkin sekoituksesta, jonka aiheuttaa tuuli, kalat, uinti, veneily yms. Ylöspäin kulkeutuessaan kaasukuplat aiheuttavat pystysuoria virtauksia ja sekoittavat järven vesimassan kerrostuneisuutta.

Sedimentistä kuplina vapautuvan kaasun määrää voidaan mitata erilaisin menetelmin (Huttunen ym. 2001, Sommarlund ym. 1998) (kuva 16). Sedimentin kaasupitoisuutta, erityisesti metaanipitoisuutta, voidaan määrittää kaasunäytteenottoa varten kehitetyllä menetelmällä (Huttunen ym. 2005) (kuva 17). Yleisesti sedimentin kaasukuplintaherkkyyttä voidaan arvioida myös aistinvaraisesti (taulukko 9).

Ranuan järvillä määritettiin sedimentistä vapautuvien kaasujen määrää avovesikaudella 1997 (kuva 18). Ranuanjärven kaasuntuotto oli selvästi suurempaa kuin Luiminkajärven kaasuntuotto. Havainto vastasi hyvin myös järven rehevyydestä ja tuki osaltaan kunnostuksen suunnittelua ja menetelmävalintaa. Ranuanjärven eri havaintopaikkojen välinen ero kaasuntuotannossa kuvastaa lähinnä transportaatio- ja akkumulaatiopohjien välistä eroa kaasuntuotannossa.

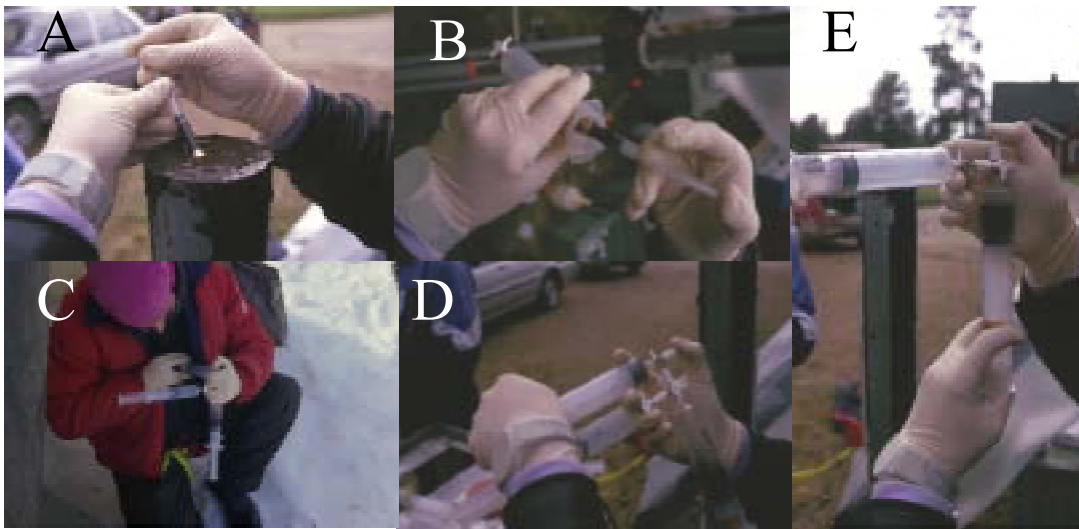


Kuva 16. Kaasunkeräimien periaatepiirrokset Huttusen ym. (2001) mukaan. Sediment Gas Sample-
rillä voidaan häiritä sedimentin pintaa ja siten vapauttaa sedimenttiin muodostunutta kaasua. Gas
Collectorilla voidaan seurata sedimentin kaasutuotantoa esimerkiksi koko avovesikauden aikana.
Gas Collectoreita kootaan yleensä noin 5 kpl samaan ankkurointiin, kuten Ranuanjärvelläkin tehtiin
(Puro ym. 1999).

Ranuan järvien sedimenteistä määritettiin metaanipitoisuudet (kuva 19). Havaitut sedimentin me-
taanipitoisuudet kasvavat järven rehevyydystason ja pelkistävien olosuhteiden mukaisesti (Sommar-
lund ym. 1998, Huttunen ym. 2005). Takajärven sedimentin alhainen metaanipitoisuus poikkeaa
Ranuanjärven pitoisuuksista, vaikka järvien rehevyydystasossa ei ole merkittävää eroa. Takajärvi on
kuitenkin matalana järvenä altis lähes jatkuvalle avovesikauden resuspensiolle. Resuspensio näyttää
hapettavan pintasedimenttiä ja siten vähentävän metaanin muodostumista. Lisäksi resuspensio siir-
tää syvällä sedimentissä syntyvää metaania veteen ja edelleen ilmakehään.

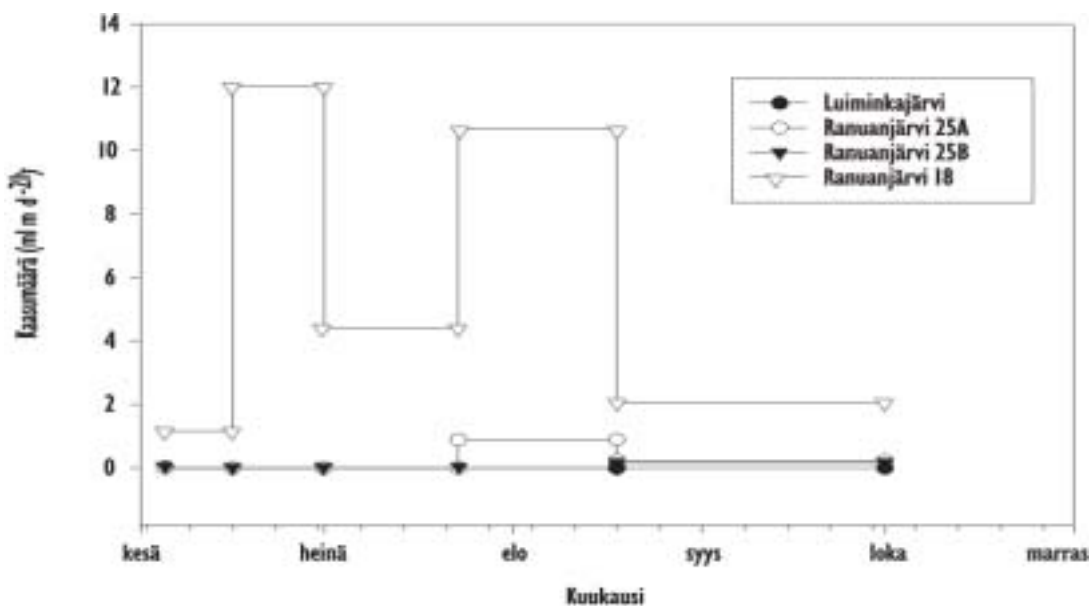
Taulukko 9. Sedimentin aistinvarainen arviointi kaasukuplintaherkkyyden arvioimiseksi. Sediment-
tinäytteet tulee ottaa läpinäkyvään putkeen. Havainnointi tehdään liikuteltavassa sivuvalaistuksessa.

Havainto	Tulkinta
Paljon isoja kuplia	suuri kaasukuplinta herkkyys
Paljon pieniä (\varnothing alle 2 mm) kuplia	kaasukuplinta herkkä
Ei kuplia	vähäinen kaasukuplinta herkkyys

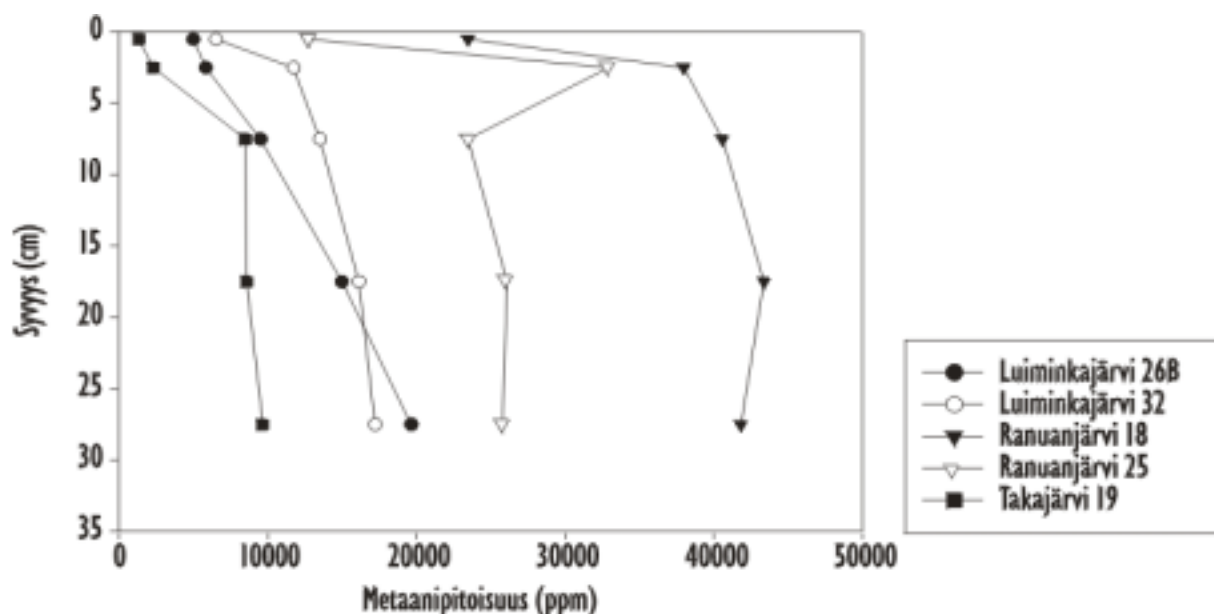


Kuva 17. Sedimentin kaasupitoisuusnäytteiden ottaminen ja käsittely. Osanäyte (A) laitetaan ruiskuun (B), minkä jälkeen ruisku suljetaan ja siitä imetään 30 ml kaasunäyteruiskuun (C). Tämän jälkeen näytteeseen sekoitetaan lievästi hapan ja ylikylläinen suolaliuos (D). Suspendoitua sedimenttinäytettä sekoitetaan voimakkaasti kaasujen vapauttamiseksi ja lopuksi kaasu injektoidaan kaasunäyteruiskuun (E). Valokuvat Seppo Hellsten 1996.

Kaasukonvektion myötä vapautuvaa sisäistä kuormitusta on vaikea hallita. Sedimentin kaasuntuotantoa voidaan nykytietämyksen valossa pitää lähinnä indikaattorina, mikä ilmentää sedimentin tilaa ja sen kunnostamiskelpoisuutta. Mikäli järven sedimentti tuottaa voimakkaasti metaania, on syytä käyttää tehokkaita keinoja sedimentin tilan parantamiseksi, joita ovat esimerkiksi tehostettu ilmastus, sedimentin kemikalointi tai ruoppaukset.



Kuva 18. Ranuan järvien kaasujen vapautuminen avovesikaudella 1997 (Puro ym. 1999).



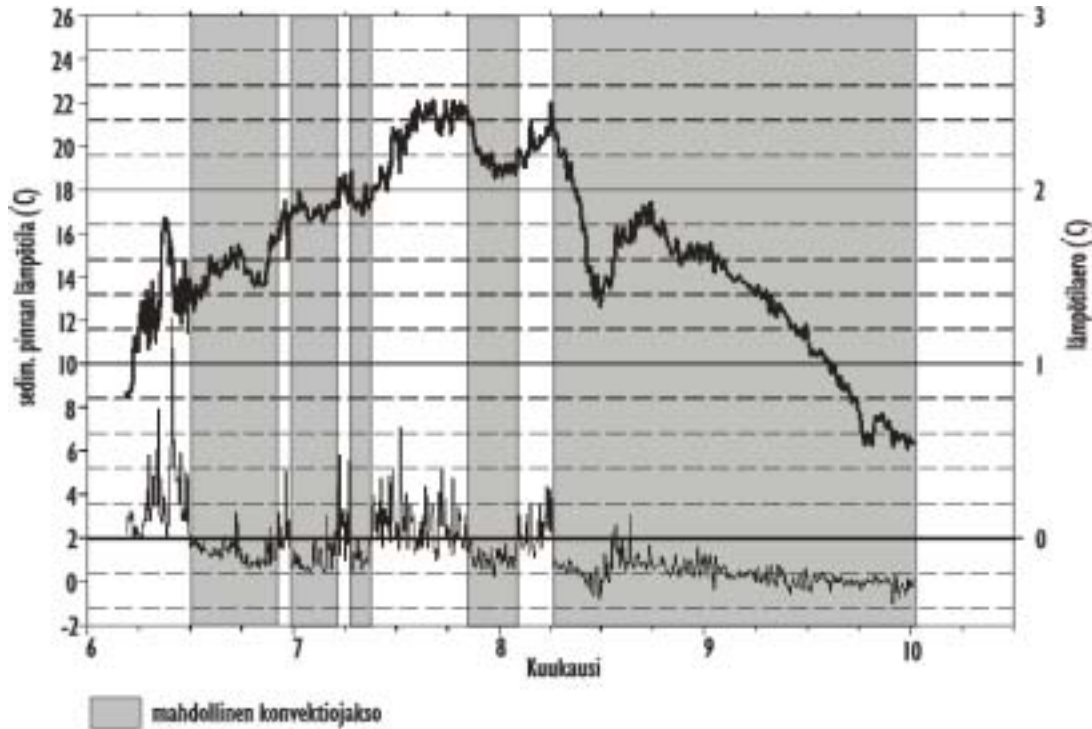
Kuva 19. Ranuan järvien sedimenttien kaasupitoisuudet heinäkuussa 1997 (Puro ym. 1999).

3.2.4. Lämpötilakonvektio

Lämpötilakonvektio on virtausta, mikä pyrkii tasoittamaan veden tiheyseroa. Veden tiheys muuttuu lämpötilan muuttuessa ja vesi on raskainta + 4°C:ssa. Rehevän järven pintasedimentti on usein hyvin vesipitoista ja löyhää. Tällöin sedimentin huokosveden fosfori kulkeutuu lämpötilakonvektion vaikutuksesta yläpuoliseen vesimassaan. Myös järven kevät- ja erityisesti syystäyskiertojen aikana sedimenttiä kylmemmän veden virtaukset voivat tunkeutua syvällekin (noin 10-15 cm) sedimenttiin ja sekoittaa huokosveden fosforia yläpuoliseen veteen (Lappalainen 1982).

Lämpötilakonvektiota esiintyy tilanteissa, jolloin sedimentin yläpuolinen vesi on kylmempää kuin sedimentin lämpötila. Ranuanjärvellä tehdyissä mittauksissa arvioitiin lämpötilakonvektiolle suotuisia olosuhteita (kuva 20). Mittausten mukaan elokuun puolivälistä alkaen järvessä oli tällaiset olosuhteet yhtäjaksoisesti syksyn täyskiertoon saakka.

Lämpötilakonvektion merkityksen arvioimiseksi laadittiin laskentamalli (kaava 3 ja kuva 21). Mallissa oletetaan huokosveden virtaavan sedimentin huokosia pitkin. Valituilla lämpötilaeroilla kuvataan järven syystäyskiertoa sekä kesän maksimilämpötilaeroja (taulukko 10). Lämpötilakonvektion laskentamallissa paine-ero huokosen päiden välillä määräytyy eri lämpötilassa olevan veden välisestä tiheyserosta. Konvektiovirtaus oletetaan laminaariseksi huokosessa ja tällöin voidaan virtausnopeus laskea Hagen-Poiseuillen virtausyhtälöstä.



Kuva 20. Ranuanjärven transportaatiovyöhykkeen (3 m) sedimentin pintalämpötilan (ylempi käyrä) kehittyminen sekä lämpötilaero (alempi käyrä) sedimentin pintakerroksen ja 10 cm syvyydellä olevan sedimentin välillä avovesikaudella 1997. Negatiivinen lämpötilaero kuvaa tilanteita, jolloin yläpuolinen vesi on kylmempää kuin sedimentti ja konvektiovirtaus on mahdollinen (Puro ym. 1999).

$$\Delta P = (\rho_{T2} - \rho_{T1})gL$$

$$v_{\max} = \frac{1}{4} \frac{\Delta P}{\mu L} R^2$$

(3) missä,

ΔP = paine-ero huokosen päiden välillä

ρ = Veden tiheys eri lämpötiloissa

$$T_{+6^\circ\text{C}} \rightarrow \rho = 999,9402 \text{ kg m}^{-3}$$

$$T_{+4^\circ\text{C}} \rightarrow \rho = 999,9720 \text{ kg m}^{-3}$$

g = maan vetovoiman kiihtyvyys

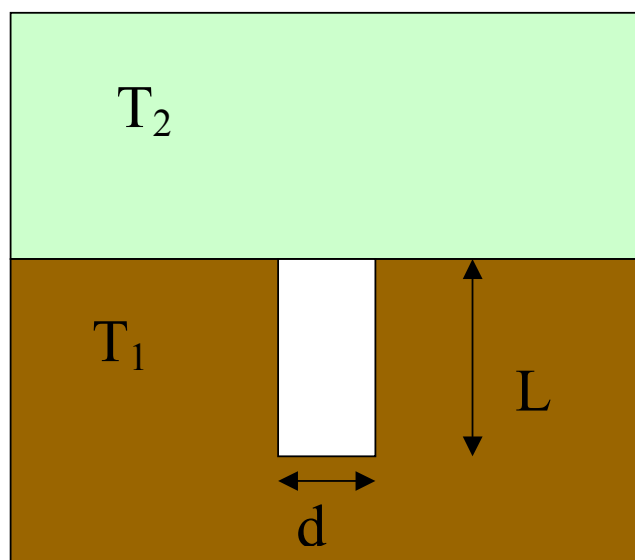
μ = veden viskositeetti ($1,567 \times 10^{-3} \text{ N s m}^{-2}$)

L = sedimenttihuokosen pituus (mm)

d = sedimenttihuokosen halkaisija

$$R = 0,5 \times d$$

v_{\max} = huokosveden maksimivirtausnopeus lasketulla paine-erolla



Kuva 21. Veden lämpötilakonvektion virtausnopeuden laskemiseksi tehty malli (Puro ym. 1999).

Taulukko 10. Lämpötilakonvektion merkityksen arvioimiseksi laaditulla mallilla lasketut virtausnopeudet erilaisissa lämpötilaolosuhteissa. Keskimääräinen virtausnopeus on puolet maksivirtausnopeudesta (Puro ym. 1999).

Lämpötilat (°C) eri syvyyksillä		Virtausnopeudet cm h ⁻¹		Mallinnettava ajankohta
- 10cm	0cm	maksimi	keskimääräinen	
6	4	1,12	0,56	teoreettinen syystäyskierto
18	16	12,2	6,12	kesän teoreettinen maksimi
20	19,5	3,59	1,79	mitattu maksimi lämpötilaero

Lämpötilakonvektion merkityksen arvioiminen sisäisen kuormituksen vapautumisessa vaatii lisätutkimuksia. Syyskesällä lämpötilakonvektio kuitenkin vahvistanee diffuusiota ja siten lisää liukoisin fosforin vapautumista sedimentistä. Lämpötilakonvektio on sisäisen kuormituksen vapautumismekanismeista ainoita, mihin ei voida vaikuttaa kunnostustoimenpitein.

3.2.5. Bioturbaatio

Bioturbaatio on lähinnä särkikalojen, mutta myös muidenkin eliöiden, kuten pohjaeläinten ja eläinplanktonin sedimentin pintakerroksen sekoitusta ja pöyhintää. Pohjaeläinten kaivautuessa sedimenttiin syntyy sedimentin ja veden rajapintaan pieniä onkaloita, mitkä lisäävät sedimentin huokoisuutta. Nämä onkalot lisäävät myös veden ja sedimentin kontaktipintaa ja edistävät huokosveden sekoittumista yläpuoliseen veteen. Eläinplanktonin vaellus pohjalta päällysveteen taas siirtää ja sekoittaa huokosveden fosforia edelleen sedimentin yläpuoliseen veteen ja jopa päällysveteen (Salonen ym. 1984). Pohjaeläinten aiheuttamaa bioturbaatiota on vaikea, ellei lähes mahdoton kunnostustoimin vähentää.

Kalat pöyhivät sedimenttiä etsiessään ruokaa, kuten pohjaeläimiä. Lisäksi monet kalat syövät muun ravinnon vähentyessä sedimenttiä, jolloin ulosteiden mukana vapautuu suuria määriä liukoisia ravinteita. Lappalainen (1990) on laskenut 80 särkikilon vastaavan neljän gramman vuorokautista fosforikuormaa.

Ranuanjärvestä ja Takajärvestä suunniteltiin poistettavaksi yhteensä 30 000 kg särkikalaa ja kuoreta (Puro ym. 1999). Tehokalastuksen myötä sisäinen kuormitus vähenisi noin 550 kg a^{-1} fosforia, kun kalansaaliin mukana järvestä poistuvaa fosforia ei huomioida laskelmissa. Tämä on noin neljä prosenttia järvien laskennallisesta sisäisestä kuormituksesta.

3.2.6. Yhteenveto

Ranuanjärven sisäinen fosforikuormitus oli ainetaselaskelman mukaan noin $8\,500 \text{ kg a}^{-1}$ (Puro ym. 1999). Fosforin diffuusio sedimentistä oli mittausten mukaan merkittävin sisäisen kuormituksen mekanismi ja sen osuus oli noin 40 %. Lämpötilaerosta johtuva virtaus eli lämpötilakonvektio lisäsi huokosveden virtausta ja sekoittumista yläpuoliseen veteen avovesikauden loppuaikana. Sedimentissä syntyvien kaasujen purkautuminen yläpuoliseen veteen eli kaasuresuspensio ajoittuu myös avovesikauden loppuaikaan. Laskettaessa yhteen nämä kolme mekanismia, voidaan arvioida niiden osuuden olevan noin 80 % vuotuisesta sisäisestä kuormituksesta Ranuanjärvessä. Bioturbaation laskennalliseksi osuudeksi sisäisestä kuormituksesta saatiin noin 4 %. Arvio laskettiin tehokalastusaaliiden perusteella, joten kalojen aiheuttaman sisäisen kuormituksen osuudeksi voidaan arvioida 5 - 15 %. Resuspension merkitys on Ranuanjärvellä vähäinen, joten sen osuus sisäisestä kuormituksesta on noin 5 – 10 %.

4. Kunnostusmenetelmän valinta ja siihen vaikuttavat tekijät

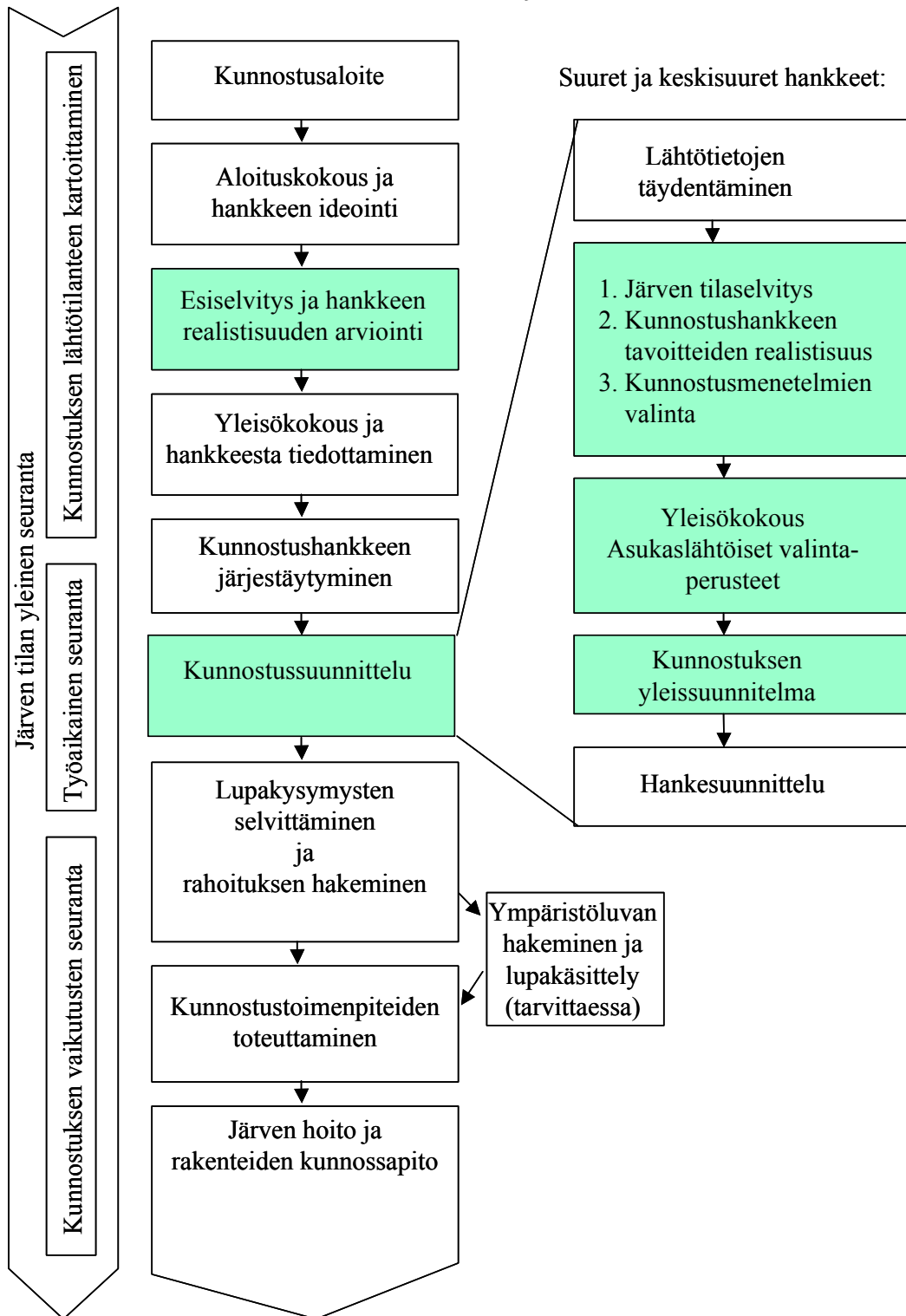
4.1 Kunnostusmenetelmän valinta osana järvenkunnostushanketta

Kohteeseen sopivien kunnostusmenetelmien valinta on keskeinen osa kunnostushanketta. Menetelmän valinta on osa esiselvitystä ja hankkeen realistisuuden arviointia sekä erityisesti kunnostussuunnittelua (kuva 22) (Vääriskoski & Ulvi 2005). Kunnostushankkeen esiselvityksessä tulee arvioida hankkeen realistisuus olemassa olevan tiedon perusteella. Esiselvityksen esittäminen ja hankkeen tavoitteista keskusteleminen yleisökokouksessa ohjaa merkittävästi varsinaista kunnostussuunnittelua. Kunnostushankkeen edetessä laaditaan suurissa ja keskisuurissa hankkeissa kunnostuksen yleissuunnitelma (Airaksinen 2003). Tätä varten voidaan järven kunnostussuunnittelun lähtötietoja täydentää. Yleissuunnitelma esitellään yleisökokouksessa, jossa hankkeen realistisuutta voidaan arvioida (kuva 22). Yleissuunnitelmassa tulee esittää järven tilaselvitys, hankkeen realistisuuden arviointi ja kunnostusmenetelmän valinta (kuva 23).

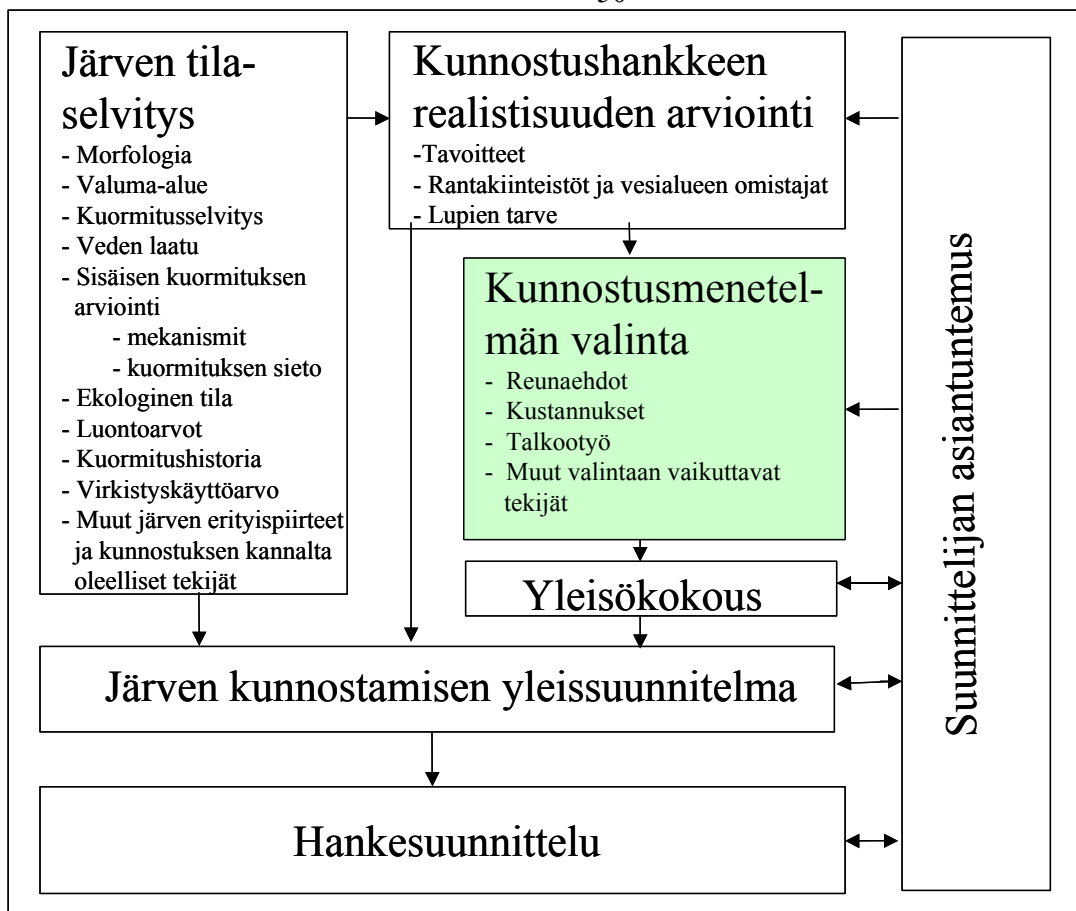
Järven tilaselvityksessä käydään läpi kappaleessa 2 esitettyjä tekijöitä suunnitteluresurssien puitteissa. Usein olemassa oleva tietämys järvestä on vajavaista ja lisätietoja kannattaa kerätä järven morfologiasta ja kuormituksesta. Kunnostusmenetelmän valinta ja kunnostushankkeen realistisuuden arviointi nojaa pitkälti järven tilaselvitykseen sekä sisäisen kuormituksen tuntemiseen, kuten kappaleessa 3 on kuvattu. Lisäksi suunnittelijalta edellytetään laajaa kunnostusmenetelmien tuntemusta – ei vain yhden tai kahden menetelmän erikoisasiantuntemusta.

Järven kunnostushankkeen suunnittelu poikkeaa eri tyyppisissä ja eri kokoisissa hankkeissa. Tässä työssä esiteltävä kunnostusmenetelmän valintaprosessi siihen liittyvine reunaehtotarkasteluineen on tarkoitettu lähinnä Airaksisen (2003) luokittelun mukaisiin suuriin (>100 000 €) ja keskisuriin (20 000 – 100 000 €) kunnostushankkeisiin. Valintaprosessi on kunnostusasiantuntijan suunnittelutyökalu. Työkalun keskeinen idea on arvioida perustellusti eri kunnostusmenetelmien sopivuus kunnostuskohteeseen ja osaltaan helpottaa asukkaiden osallistumista keskusteluun yleisötilaisuudessa.

Rehevän järven kunnostaminen on pitkäjänteinen hanke. Hankkeen alkuvaiheessa järven virkistyskäytön ongelmien vähentäminen riittänee realistiseksi tavoitteeksi. Myöhemmin voidaan paneutua myös ongelmien syyhyn, kuten sisäiseen kuormitukseen. Kuitenkin alueen asukkaiden on usein vaikeaa hyväksyä ajatusta, ettei järveä saada välttämättä yhdellä menetelmällä tai edes koko hankkeella täysin kuntoon. Yleensä parhaan ratkaisun järven ongelmiin tuo eri kunnostusmenetelmien yhdistelmä tai kunnostuksen toteuttaminen useammassa vaiheessa muutaman vuoden kuluessa. Kunnostuksen rahoituskin saattaa edellyttää toimenpiteiden jakamista useammalle vuodelle.



Kuva 22. Kunnostushankkeen vaiheet Vääriskosken ja Ulvin (2005) mukaan sekä suurten (> 100 000 €) ja keskisuurten (20 000 – 100 000 €) hankkeiden suunnittelu.



Kuva 23. Kunnostushankkeen yleissuunnitelmaan liittyvät osaselvitykset.

4.2. Kunnostushankkeen realistisuuden arviointi

Järvikunnostuksen onnistumisen edellytys on realistinen tavoitteiden asettaminen. Usein kunnostushankkeita aloitettaessa hankkeen tavoitteista keskusteleminen yleisötilaisuuksissa jää liian vähälle huomiolle ja siksi tavoitteet jäävät epämääräisiksi. Epämääräisten tavoitteiden takia kunnostushankkeiden lopputulokset vastaavat yleensä heikosti hyödynsaajien hankkeille asettamia odotuksia.

4.2.1. Alueen asukkaiden toiveet ja huolet

Jo hankkeen aloituskokouksessa ja ideoinnin aikana (kuva 22) on syytä kutsua paikalle asiasta kiinnostuneita ja aktiivisia alueen asukkaita. Alueen asukkailla on järven tilasta paras paikallistuntemus. Asukkaiden toiveet, käyttötarpeet ja huolet ovat tärkeitä lähtökohtia tavoitteiden määrittelyssä ja kunnostusmenetelmien valinnassa. Yleisötilaisuuden valmistelu on tehtävä huolellisesti, ettei tilaisuudessa vain etsittäisi syyllisiä järven huonoon tilaan. Tällaisissa tapauksissa huomio usein kiinnittyy yhteen tai kahteen kuormittajaan, eikä järven tilaan kokonaisuudessaan vaikuttavia tekijöitä saada oikeissa mittasuhteissa esille. Esimerkiksi Pohjois-Pohjanmaalla turvetuotannon kuormitus

koetaan usein syyllisenä järven huonoon tilaan, mikäli toimintaa on järven läheisyydessä. Järvikoh-
taisten tutkimusten ja laskelmien mukaan kuormitus tulee usein pääosin maa- ja metsätaloudesta tai
haja-asutuksesta. Järven ranta-asukkaiden energia tulisi kanavoida kunnostuksen suunnittelua pal-
velemaan järven tilan tarkkailuun sekä omien kiinteistökohtaisten vesiensuojeluratkaisujen ja -
toimien kehittämiseen.

Ranta-asukkaiden näkökulmasta tarkasteltuna raskaat kunnostustoimenpiteet, kuten kemikalointi,
ruoppaus tai järven tilapäinen tyhjentäminen, herättävät usein keskustelua luontoarvojen säilymisestä
tai vahingollisten kemikaalien joutumisesta ympäristöön.

Tietoa asukkaiden toiveista ja huolista voidaan kerätä myös tekemällä kirjallisia tai suullisia kysely-
jä. Haastattelut, joihin yhdistetään myös vesiensuojeluun ja jätehuoltoon liittyvää neuvontaa tai val-
vontaa, ovat tehokas tapa saada tietoa järven vaikutuspiirin haja- ja mökkiasutuksen vesiensuojelun
tilasta (Paananen 2001). Tämä työskentelytapa vie aikaa, mutta sillä saavutetaan myös monia ympä-
ristötietoisuuden edistämistavoitteita.

4.2.2 Järven ominaispiirteet

Valuma-alueen maankäyttö, järven morfologia (pinta-ala, syvyys, liuskeisuus jne.), hydrologia ja
limnologia vaikuttavat järven tilan kehittymiseen (kappaleet 2.1 ja 2.2). Kunnostuksen realististen
tavoitteiden asettelu perustuu merkittävilta osin näihin järven ominaispiirteisiin ja kehitykseen. Eri-
tyisesti ylitsehevissä järvissä on syytä selvittää myös sedimentin määrä ja laatu (kappale 2.1.4).

4.2.3 Reunaehdot

Järven kunnostamishankkeen tavoitteissa on otettava huomioon myös järven luontoarvot ja niiden
monimuotoisuus (kappale 2.4) sekä ekologinen tila (kappale 2.3).

Järven ekologinen tila

EU:n vesipolitiikan puitteiden tavoitteena on edistää järvien hyvää ekologista tilaa (EU 2000).
Järven hyvä ekologinen tila ja käyttökelpoisuus ovat pääosin yhdensuuntaisia tavoitteita. Direktiivin
tavoitteet voivat kuitenkin olla joissain tilanteissa ristiriidassa järven eri käyttömuotojen kanssa.
Mikäli järvi on valuma-alueen ominaisuuksien vuoksi luontaisesti rehevä ja sen eliöstössä on vain
vähäisiä muutoksia luonnontilaan verrattuna, järven ekologinen tila luokitellaan hyväksi. Direktii-
vin perusteella järven hyvää ekologista tilaa tulee pitää yllä. Tällaisissa tapauksissa kunnostus voisi
muuttaa järveä direktiivin tavoitteiden vastaisesti. Direktiivi ei kuitenkaan estä luontaisesti rehevän
järven virkistyskäytön mukaista kunnostusta, mikäli sen hyvä ekologinen tila säilyy tai jopa para-
nee. Järven hyvä ekologinen tila on siis reunaehtona otettava huomioon järven kunnostushankkeen
tavoitteita määritettäessä – erityisesti tällaisissa erityistapauksissa .

Luontoarvot

Kunnostushankkeen tavoitteiden asettelussa on otettava huomioon myös järven ja sen lähialueen luontoarvot. EU:n lintu- ja luontodirektiivit sekä direktiivi hankkeiden ympäristövaikutusten arvioinnista (YVA-direktiivi) ohjaavat osaltaan reunaehtona myös kunnostustoimintaa.

Järven kunnostaminen voi myös edistää luonnonsuojelua, kun kunnostustoimin parannetaan luontotyyppin tai lajin säilymisen edellytyksiä. Yleensä kunnostuksen ja luonnonsuojelun tavoitteet on sovittava yhteen tai ainakin toimittava siten, ettei suojelulle aiheudu kohtuutonta haittaa. Lisäksi kunnostushankkeen yhteydessä voidaan parantaa ihmisten tietoisuutta oman alueen erityispiirteistä ja hyödyntää näitä erityispiirteitä esim. luontomatkailun kehittämisessä (Vainio 2001).

4.2.4 Tavoitteiden realistisuus

Kunnostushanke on realistinen, kun sen tavoitteet ovat saavutettavissa ja hanke on toteutuskelpoinen. Tavoitteiden tulee olla mahdollisimman käytännön läheisiä ja mitattavia. Kunnostuksen tuloksellisuuden mittaaminen on varsinkin isoissa hankkeissa tärkeää (Tanskanen 2005). Esimerkkejä realistisista ja konkreettisista tavoitteista ovat mm.:

- Ulkoisen kuormituksen vähentäminen alle järven kriittisen kuormituksen siten, että jokainen kuormittaja tietää oman kuormituksen vähentämistarpeensa.
Pudasjärven Saunajärvellä loma-asutuksen fosforikuormaa on tarkoitus vähentää 40 % nykyisestä määrästä (Paananen 2001). Kuormituksen vähentäminen tavoitteiden mukaisesti vaatii kiinteistökohtaista suunnittelutyötä.
- Järvi uimakelpoiseksi.
Ranuanjärvellä on ollut tavoitteena, että jokavuotiset sinileväesiintymät poistuvat sekä bakteeripitoisuudet ja muu vedenlaatu ovat uimavedelle asetettujen laatuvaatimusten mukaisia. Sinileväesiintymiä pyritään hillitsemään alentamalla veden fosforipitoisuutta tehokalastuksella ja hapetuksella (Puro ym. 1999).

Pienissä, omaehtoisissa kunnostuskohteissa tavoitteet ovat realistisia, kun maalaisjärkeä käyttäen otetaan huomioon alueen asukkaiden yksimieliset toiveet järven käyttökelpoisuuden parantamiseksi. Järven luontoarvot sekä hyvä ekologinen tila ovat kuitenkin niitä reunaehtoja, jotka on otettava huomioon myös omaehtoisissa hankkeissa.

Alueellisten viranomaisten, kuntien ja alueen asukkaiden yhteistyönä tehtävissä keskiuurissa kunnostushankkeissa (hankekoko 20 000 - 100 000 €) tavoitteiksi asetetaan yleensä järven käyttökelpoisuuden parantaminen. Rajatusti myös muita tavoitteita hieman laajempia yksittäisiä tavoitteita voi olla mukana, esim. järven hyvä tila, valuma-alueen vesiensuojelun korkea taso tai järven alapuolisen vesistön veden laadun parantaminen järveä kunnostamalla.

Nykyisin lähinnä EU-rahoituksella toteutettavien suurten hankkeiden kokoluokassa (hankekoko yli 100 000 €) järven kunnostaminen on usein osa laajaa hankekokonaisuutta, jonka tavoitteet määräytyvät rahoittavan ohjelman ja rahoitushakemuksen mukaan. Esim. EU:n rahoittamasta laajasta kunnostushankkeesta on Lappajärvi Life-hanke, jonka tavoitteena oli vähentää Lappajärveen tulevaa ravinnekuormitusta ja löytää tehokkaita ja taloudellisia keinoja rehevöityneiden järvien ja niiden valuma-alueiden kunnostamiseen. Pääpaino oli ulkoisen kuormituksen vähentämisessä, mutta myös sisäistä kuormitusta pienennettiin tehokastuksella ja talviaikaisella kierrätyspöytätyöllä syvänteissä. Keskeisenä tavoitteena oli alueen asukkaiden ja loma-asukkaiden ympäristövastuullisuuden lisääminen (Savola & Rautio 2003).

Järven ranta-asukkailla voi olla hyvinkin erityyppisiä toiveita järven kunnostamiseksi. Tällöin eri lähtökohdista syntyneet tavoitteet voivat olla jopa ristiriitaisia. Suurten, erityyppisistä vesialueista koostuvien järvien kunnostuksen yhteydessä voidaan järven eri osia kehittää erilaisten tavoitteiden mukaan kuitenkin kokonaisuus huomioon ottaen. Pienissä järvissä tulisi päästä yksimielisyyteen tai ainakin hyväksyttävään kompromissiratkaisuun kunnostuksen tavoitteissa. Kunnostushankkeen realististen tavoitteiden tulee olla sopusoinnussa järven morfologian, hydrologian ja osittain myös limnologisen kehityksen kanssa.

4.3 Kunnostusmenetelmän valinta

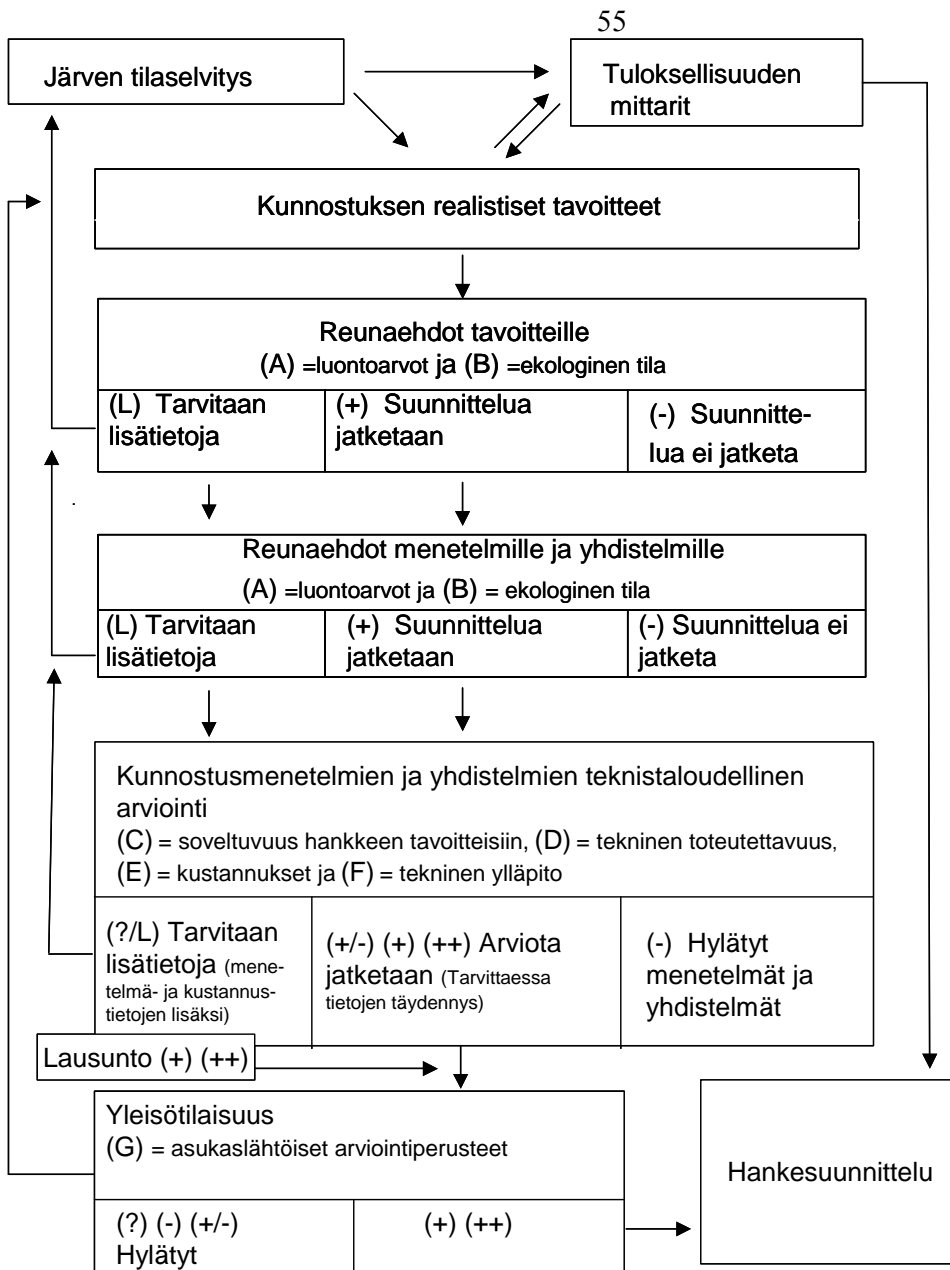
Lähtökohta kunnostusmenetelmän valinnalle on, että valittu menetelmä soveltuu juuri kyseiseen järveen ja tuottaa tavoitteiden mukaisia tuloksia. Usein hyvä tulos saavutetaan useiden menetelmien yhdistämisellä tai ajoittamalla kunnostusmenetelmien toteutus peräkkäin. Toimenpideyhdistelmät, joissa alennetaan sekä ulkoista että sisäistä kuormitusta, tuovat pitkällä aikavälillä parhaan lopputuloksen. Kunnostushankkeissa on kuitenkin usein kyse rajallisten resurssien kohdentamisesta ja siksi on syytä valita aluksi järvelle välitöntä apua tuovat menetelmät.

Kunnostusmenetelmän valinta on kunnostuksen asiantuntijan arvio järvelle sopivista menetelmistä ja niiden yhdistelmistä. Valinnassa on otettava yksilöidysti huomioon kohdejärven lähtötiedot, asetetut tavoitteet ja käytettävissä olevat resurssit. Pieniin ja suuriin järviin sopii käytettäväksi periaatteissa samat kunnostusmenetelmät. Kuitenkin kunnostettavan järven ollessa iso kohoavat kokonais-

kustannukset yleensä liian korkeiksi, vaikka kustannukset pinta-alayksikköä kohti ovat yleensä suuressa järvessä alhaisempia kuin pienessä järvessä. Valinnassa käytetään apuna myös aikaisemmista kunnostushankkeista kertynyttä tietämystä eli kunnostusmenetelmän tuloksellisuutta. Erikoistapauksia ovat tutkimus- ja koehankkeet, joissa pyritään erityisesti lisäämään tietämystä uusien kunnostusmenetelmien käyttökelpoisuudesta, soveltuvuudesta ja tuloksellisuudesta.

Omaehtoisissa ja pienissä kunnostushankkeissa pääasiallisia kunnostusmenetelmiä ovat teho- ja hoitokalastus, vesikasvillisuuden niitto sekä pienimuotoiset uimapaikkojen tai mökkirantojen ruopaukset tavoitteista riippuen. Omaehtoisia kunnostushankkeita tukevat lisäksi järven lähivaluma-alueen kuormituksen vähentämiseen tähtäävät, lähinnä vapaaehtoiset toimenpiteet. Näiden hankkeiden resurssit kannattaa kohdentaa kattavien lähtötietojen hankinnan sijaan kunnostuksen reunaehto- jen määrittämiseen sekä työnaikaisten haittojen vähentämiseen. Pienten kunnostushankkeiden luvanvaraisuus kannattaa tarkistaa alueellisesta ympäristökeskuksesta erityisesti jos kohde kuuluu Natura 2000 –verkostoon, lintuvesien tai rantojen suojeluohjelmaan, uhanalaisten lajien esiintymis- alueeseen tai, jos epäillään, että kohde sisältää pilaantuneita maita.

Keskisuurissa ja suurissa kunnostushankkeissa kunnostusmenetelmät käydään läpi järjestelmällisesti kunnostuksen esiselvityksessä ja kunkin menetelmän soveltuvuus kohteeseen arvioidaan erikseen. Arvioinnissa otetaan huomioon kunnostusmenetelmän teknis-taloudelliset, ekologiset sekä asukas- lähtöiset tekijät. Lisäksi otetaan huomioon myös luontoarvojen asettamat reunaehdot kunnostami- selle. Kunnostusmenetelmien perusteltu läpikäynti ja yleisökokouksessa esittäminen madaltaa kyn- nystä alueen asukkaiden osallistumiselle ja sitoutumiselle kunnostuksen suunnitteluun, toteutukseen ja jälkihoitoon. Kokonaiskuva menetelmävalinnasta on esitetty kuvassa 24 ja kappaleissa 4.3.1 ja 4.3.2. Liitteen 1 menetelmätiivistelmissä käydään valintamenettely yksityiskohtaisesti läpi.



Kuva 24. Toimintakaavio järvikunnostuksen menetelmävalinnasta kunnostushankkeen yleissuunnitelmassa, ottaen huomioon valintaan vaikuttavat reunaehdot. Kaavion merkinnät kuvaavat kunkin menetelmän arviointitulosta kyseiselle järvelle. Merkinnät ovat; L = kohteesta ei ole riittävästi tietoa tai pyydettyä lausunto alueellisilta ympäristökeskuksilta, ? = menetelmän sopivuudesta kohteeseen ei ole riittävästi tietoa, joko tausta- tai menetelmätietojen puutteellisuuden vuoksi, - = menetelmä ei sovellu kohteeseen, +/- = menetelmän soveltuvuus kohteeseen epävarma, + = menetelmä soveltuu melko hyvin kohteeseen ja ++ = menetelmä soveltuu hyvin kohteeseen.

4.3.1. Kunnostuksen reunaehdot

Kunnostushankkeen reunaehtojen määrittäminen olisi tehtävä riittävän laajoihin ja yksityiskohtaisiin lähtötietoihin perustuen (kappaleet 2.3 ja 2.4). Hankkeen tavoitteiden tulee läpäistä reunaehdotarkastelu ja suunnittelun edetessä myös yksittäisten kunnostusmenetelmien tulee läpäistä reunaehdotarkastelu (kuva 24). Kunnostushankkeen reunaehdotarkastelun tavoitteena on löytää menettelytapa, jolla osaltaan edistetään ja varmistetaan luontoarvojen ja hyvän ekologisen tilan säilyminen. Lisäksi voidaan lisätä ihmisten tietoisuutta oman elinympäristön monimuotoisuudesta. Toisaalta reunaehdotarkastelusta voi kehittyä myös väline kunnostushankkeiden kaatamiseen tai ainakin vaikeuttamiseen. Tällainen toiminta ei kuitenkaan edistä paikallista yhteistyötä järven hyvinvoinnin lisäämiseksi.

Hankkeen tavoitteiden arviointi

Ensivaiheessa tarkastetaan kunnostuksen tavoitteiden yhteensopivuus järven ja sen lähivaluma-alueen luontoarvojen ja ekologisen tilan reunaehtoihin (kuva 24). Jos kunnostuksen tavoitteet eivät ole ristiriidassa reunaehtojen kanssa, voidaan hankkeen suunnittelua jatkaa. Luontoarvoihin liittyviä reunaehtoja (A) ja hyvään ekologiseen tilaan liittyviä reunaehtoja (B) voidaan arvioida seuraavien kysymysten avulla:

- A.1. Esiintyykö järvessä uhanalaisia tai rauhoitettuja eläin-, kasvi- tai eliölajeja?
- A.2. Onko järvi alueellisesti (I), valtakunnallisesti (II) tai kansainvälisesti (III) tärkeä lintujärvi?
- A.3. Esiintyykö järven lähivaluma-alueella uhanalaisia tai rauhoitettuja eläin-, kasvi- tai eliölajeja?
- A.4. Onko järvessä rauhoitettuja luontotyypppejä (esim. suojellut hiekkarannat) tai onko se suojeltu (esim. Natura-alue)?
- A.5. Onko järven lähivaluma-alueella rauhoitettuja luontotyypppejä tai onko se suojeltu (esim. Natura-alue?)
- A.6. Voiko luontoarvoja hyödyntää luontomatkailussa (mm. riistamatkailu) tai alueen muiden elinkeinojen kehittämisessä (EU-rahoitettavat hankkeet)?
- B.1. Aiheutuuko suunnitellusta kunnostusmenetelmästä haittaa järven luonnontilaiselle kasvillisuudelle?
- B.2. Aiheutuuko suunnitellusta kunnostusmenetelmästä haittaa järven luonnontilaiselle kalastolle?
- B.3. Aiheutuuko suunnitellusta kunnostusmenetelmästä haittaa järven luonnontilaiselle pohjaeliöstölle?
- B.4. Vääristääkö suunniteltu kunnostusmenetelmä järven luonnontilaista kasviplanktonpopulaatiota?

- B.5. Ovatko kunnostushankkeen tavoitteet ristiriidassa järven hyvän ekologisen tilan tavoitteen kanssa?
- B.6. Onko mahdollisesti hyvälle ekologiselle tilalle aiheutunut haitta merkittävä ja onko haitta minimoitavissa suunnittelulla?

Kysymyksiin vastaaminen voi olla vaikeaa, mutta vastauksia voi hakea yhdessä viranomaisten (kuntien ympäristövirastot ja alueelliset ympäristökeskukset), kansalaisjärjestöjen (esim. luonnon-suojeluyhdistykset) sekä kunnostuskonsulttien ja tutkimuslaitosten kanssa. Mikäli järvikunnostushankkeen tavoitteet ovat ristiriidassa luontoarvojen tai järven hyvän ekologisen tilan kanssa, on syytä arvioida kunnostuksen mielekkyyttä uudelleen. Tällöin on usein myös syytä täydentää taustatietoja järven ekologisesta tilasta ja luontoarvoista sekä niiden merkityksestä kunnostuksen reunaehdoina. Epäselvissä tilanteissa kannattaa pyytää hankkeesta ja sen vaikutuksista lausunto alueellisesta ympäristökeskuksesta.

Kunnostusmenetelmien arviointi

Reunaehtojen avulla rajataan kohteeseen sopimattomia menetelmiä pois jatkosuunnittelusta (kuva 24). Tässä vaiheessa on erityisen tärkeää tuntee järven ominaispiirteet riittävän hyvin, ettei poisteta menetelmiä ilman riittäviä perusteita (taulukot 11 ja 12). Mikäli järvessä ei ole ekologisia tai luontoarvoihin perustuvia kunnostuksen reunaehtoja tai lisäselvitysten mukaan kunnostustoimenpiteiden vaikutus on reunaehtoihin vähäinen, voidaan kunnostuksen suunnittelua jatkaa menetelmien teknisetaloudellisella arviolla.

Kunnostusmenetelmän reunaehtoja määritettäessä jää kysymyksiin A6, B5 ja B6 yleensä menetelmittain vastaamatta. Kysymykset A6 ja B5 liittyvät kunnostushankkeen tavoitteiden arviointiin ja kysymys B6 on lähinnä asiantuntijoille suunnattu täydentävä kysymys, mikäli kysymysten B1 – B4 arvio oli L tai -. Oman ongelmansa muodostavat nk. kokeiluasteen menetelmät, kuten järven tilapäinen kuivattaminen, pohjan kemikaalipöyhintä ja sedimentin stabilointi. Näiden menetelmien vaikutuksia järven ekologiseen tilaan tai luontoarvoihin ei juurikaan ole selvitetty. Esimerkiksi järven tilapäisen kuivattamisen ekologisia vaikutuksia ei juurikaan ole tähänastisissa hankkeissa arvioitu.

Taulukko 11. Menetelmän sopivuus kunnostuskohteeseen, kun kunnostuksessa on otettava huomioon luontoarvot. Taulukoiden reunaehtokysymysten numerointi viittaa tekstissä esitettyihin kysymyksiin ja taulukon merkinnät ovat seuraavat: + = suunnittelua jatketaan, - = suunnittelua ei jatketa ja L = arvioinnin perusteena ei ole riittävästi tietoa kohteesta ja/tai mahdollisista kunnostustoimenpiteiden vaikutuksista luontoarvoihin tulisi pyytää lausunto alueellisesta ympäristökeskuksesta. Lisätietojen tai lausunnon jälkeen tehdään menetelmittäin jatkosuunnittelupäätökset.

Kunnostusmenetelmä	Reunaehtokysymykset						
	A1	A2			A3	A4	A5
		I	II	III			
Hapetus	+	+	+	+	+	+	+
Ravintoketjukurinostus	+/L	+	+	L	+	+	+
Fosforin kemiallinen saostaminen vedestä	-/L	+/L	+/L	L	+	+/L	+
Alusveden poistaminen	+	+	+	+	+	+	+
Ruoppaus	-/L	L	L	L	-/L	-/L	+/L
Vedenpinnan nostaminen sekä vedenkorkeuden säännöstely	+/L	L	L	L	L	L	L
Vesikasvien niitto	L	L	L	L	+	L	+
Järven tilapäinen kuivattaminen	-/L	L	L	L	L	L	+
Järven pohjan pöyhintäkemikalointi	L	L	L	L	+	L	+
Sedimentin stabilointi	-/L	L	L	L	+	L	+

Taulukko 12. Menetelmän sopivuus kunnostuskohteeseen, kun kunnostuksessa on otettava huomioon hyvään ekologiseen tilaan tähtääviä reunaehtoja. Taulukoiden reunaehtokysymysten numerointi viittaa tekstissä esitettyihin kysymyksiin, muutoin taulukon merkinnät ovat samat kuin taulukossa 11.

Kunnostusmenetelmä	Reunaehtokysymykset			
	B1	B2	B3	B4
Hapetus	+	+/L	+	+
Ravintoketjukurinostus	+	+/L	+	L
Fosforin kemiallinen saostaminen vedestä	+/L	L	+/L	+/L
Alusveden poistaminen	+	+	+	+
Ruoppaus	+/L	+/L	+/L	+
Vedenpinnan nostaminen sekä vedenkorkeuden säännöstely	+/L	+/L	+	+
Vesikasvien niitto	-/L	+/L	+	+
Järven tilapäinen kuivattaminen	-/L	-/L	-/L	-/L
Järven pohjan pöyhintäkemikalointi	+/L	L	-/L	+
Sedimentin stabilointi	+/L	-/L	L	+

4.3.2. Teknis-taloudelliset ja asukaslähtöiset valintaperusteet

Kunnostusmenetelmän valintaa jatketaan reunaehdotarkastelun jälkeen eri kunnostusmenetelmien teknis-taloudellisella arvioinnilla (kuva 24). Arviointi tehdään vain reunaehdotarkastelun läpäisseille menetelmille ja menetelmäyhdistelmille. Kunnostusmenetelmän valinta on järven perusominaisuuksiin (kappaleet 2 ja 3) ja hankkeen tavoitteisiin perustuvaa menetelmien poissulkemista.

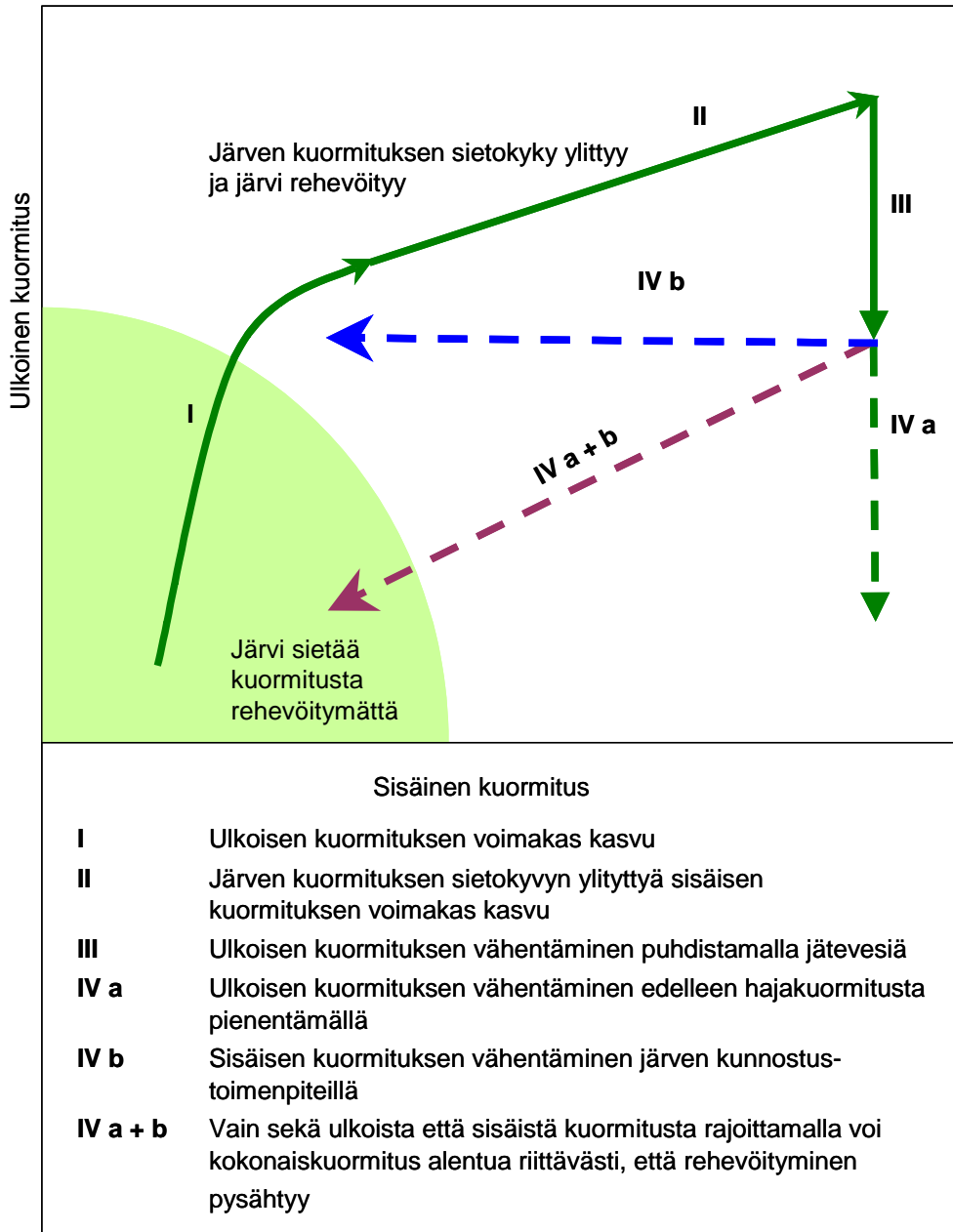
Rehevän järven kunnostamisessa on lähes aina kyse kuormituksen hallinnasta (kuva 25) (Saarijärvi & Sammalkorpi, 2005). Kunnostusmenetelmän teknisessä valinnassa on oleellista erottaa menetelmät, joilla pyritään vähentämään sisäistä kuormitusta, ja menetelmät, joilla vähennetään rehevöitymisen aiheuttamia ongelmia järvessä (taulukko 13). Rehevöitymistä vähentävillä menetelmillä pyritään estämään tai ainakin vähentämään järven sisäisen kuormituksen vapautumista sedimentistä (luku 3). Liitteessä 1 esitetyissä menetelmäkohtaisissa valintaperusteissa on pyritty löytämään kustakin menetelmästä sen oleellisin vaikutusmekanismi sisäisen kuormituksen vähentämiseksi.

Menetelmien teknis-taloudellinen arviointi on asiantuntija-arvio, jossa menetelmän ominaisuuksia verrataan toisaalta kunnostuskohteeseen ja toisaalta käytettävissä oleviin resursseihin. Arviointiperusteina on neljä alakohtaa:

- menetelmän soveltuvuus hankkeen tavoitteisiin (C)
- menetelmän tekninen toteutettavuus kohteessa (D)
- menetelmän kustannukset suhteessa hankkeen rahoitusmahdollisuuksiin (E) ja
- menetelmän ylläpitoon liittyvät näkökohdat (F).

Teknistaloudellisten valintaperusteiden lisäksi tulee ottaa huomioon myös nk. asukaslähtöiset valintaperusteet (G). Näitä voidaan arvioida sekä kohde- että menetelmäperustein. Kohdekohtainen arviointi korostaa kohteen erityispiirteitä ja niiden ottamista huomioon hankkeessa. Esimerkiksi voimakkaasti rehevöityneille, lähes umpeenkasvaneille matalille järville riista- ja lintuvesiin soveltuvien kunnostusmenetelmien valinta voi olla järkevä vaihtoehto. Tällöin järven vesikasvustoon raivataan avoimia vesialueita ja veneilyuria, muttei poisteta kaikkia vesikasveja. Menetelmäkohtainen arvio puolestaan perustuu suunnitellun menetelmän tunnettuihin ja tutkittuihin ominaisuuksiin sekä arvioon menetelmän sopivuudesta kohteeseen.

Rokuan alueen eri tasoisesti rehevöityneisiin järviin soveltuvien kunnostusmenetelmien valintaprosessi on kuvattu esimerkkinä luvussa 5.



Kuva 25. Rehevien järvien tilan tähänastinen kehitys voidaan jakaa kolmeen vaiheeseen. **I** Rehevöityminen alkoi voimistua, kun ulkoinen kuormitus kasvoi huomattavasti luonnontilaisesta (maatalous, metsätalous ja viemäröinnin tehostuminen). **II** Kun järven kuormituksen sietokyky ylittyi, rehevöityminen kiihtyi lähinnä sisäisen kuormituksen kasvun myötä. **III** Ulkoista kuormitusta on vähennetty jätevesiä puhdistamalla (yhdykskunnat ja teollisuus), mutta sisäiseen kuormitukseen ei ole vielä puututtu. Kokonaiskuormitus ylittää edelleen järven sietokyvyn selvästi, eikä järven tila ole vastaavasti parantunut. Sekä ulkoista (**IVa**), että sisäistä kuormitusta (**IVb**) on alennettava, että järven rehevöityminen saadaan pysäytettyä. Ulkoista kuormitusta voidaan vähentää kuormitusselvityksen mukaisista kohteista. Sisäisen kuormituksen vähentäminen vaatii järven kunnostustoimenpiteitä, jotka kohdistuvat yleensä sedimenttiin (Saarijärvi & Sammalkorpi 2005).

Taulukko 13. Yhteenvetotaulukko eri kunnostusmenetelmien sopivuudesta rehevän järven ongelmien poistamiseen (P) tai vähentämiseen (V), jolloin menetelmän vaikutus ongelmaan on myös todennäköisesti lyhytaikainen (1-3 a). Järven ongelmat on saatu selville järven tilaselvityksen yhteydessä. Ruudukko on jätetty tyhjäksi, mikäli menetelmällä ei ole vaikutusta havaittuun ongelmaan. Suluissa oleva merkintä kuvaa menetelmän välillistä vaikutusta. Taulukkoon numeroidut rehevän järven ongelmat ovat (kappale 2.5): 1. umpeenkasvu, 2. mataloituminen/liettyminen, 3. vinoutunut kalakanta (särkivaltaisuus), 4. sedimentin löyhyys (kaasuresuspensio) 5. sedimentin löyhyys (tuuliresuspensio) 6. sedimentin heikko sorptiokyky 7. ravinteiden diffuusio 8. happikadot 9. sinileväkukinnat ja 10. veden korkea fosforipitoisuus. Menetelmän tekninen toimivuus ongelmien poistajana tai vähentäjänä on kuvattu tarkemmin liitteessä 1.

Menetelmä	Rehevän järven ongelmat									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Hapetus ¹⁾				V		V	V	V	V	V
Ravintoketjukurkennostus + hoitokalastus ²⁾			V						V	(V)
Fosforin kemiallinen saostus (vedestä)						(V)	(V)	(V)	(V)	V
Alusveden poistaminen								V		V
Ruoppaus	P	P		(V)	(V)		(V)		(V)	
Vedenpinnan nostaminen ja vedenkorkeuden säännöstely	P	P			P					
Vesikasvien niitto	V	(V)								
Järven tilapäinen kuivat- taminen ³⁾	(V)	V	V	V	V		(V)			
Järven pohjan pöyhintä- kemikalointi ⁴⁾				(V)	(V)	(V)	(V)			(V)
Sedimentin stabilointi				V/P	V/P	V	V	(V)	(V)	(V)

¹⁾ Hapetus on menetelmänä luonteeltaan väliaikainen. Mikäli hapetus lopetetaan, myös sen myönteiset vaikutukset häviävät vuoden aikana.

²⁾ Ravintoverkkokunnostusta tulee jatkaa riittävillä hoitokalastustoimilla

³⁾ Järven tilapäisen kuivatamisen tuloksellisuuden pysyvyydestä ei vielä ole riittäviä tutkimustuloksia, joskin alustavat tulokset ovat olleet lupaavia

⁴⁾ Järven pohjan pöyhintälaitteiston kehittämisessä ja menetelmän koekohteissa on viime vuosina keskitytty lähes yksinomaan sedimentin fosforinsidontakyvyn parantamiseen saostuskemikaalien avulla. Pöyhintälaitteisto sopii koekohteiden kokemusten mukaan hyvin kemikaalin levittämiseen, mutta menetelmän tuloksellisuutta vasta tutkitaan esimerkiksi Kuusamon Näläkölammella. Järven pohjan pöyhinnän sijaan tässä työssä käytetään menetelmästä nimitystä järven pohjan pöyhintäkemikalointi.

5. Rokuan rehevöityneiden järvien kunnostaminen

Rokuan alueen järvien tilaa, kuormitusta ja kunnostusmahdollisuuksia on tutkittu Pohjois-Pohjanmaan ympäristökeskuksessa vuodesta 2002 lähtien. Järvien tilaa on seurattu jo aiemminkin, mutta tähän työhön on koottu yhteenveto seuraavista julkaisuista ja selvityksistä: Rokuan järvien tila vuonna 2002 (Viitamäki & Rouvinen 2002), Rokuan järvien kuormitusselvitys (Paakki 2004), Rokuan rehevien järvien kunnostamisen yleissuunnitelma (Männikkö 2004) sekä Rokuan rehevöityneiden järvien ranta-asukkaiden kunnostushalukkuus (Kortsalo & Pakarinen 2004).

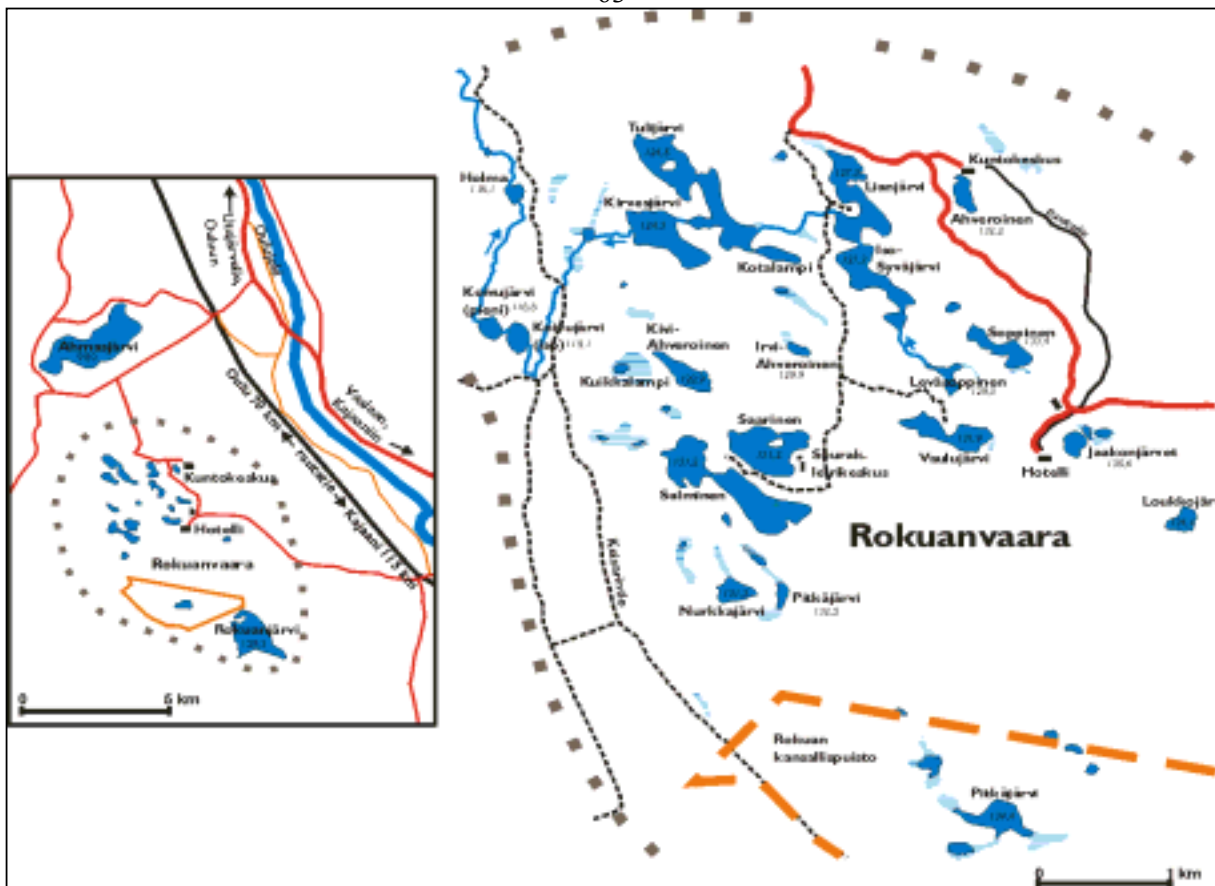
5.1. Rokuan järvet

Muhoksen, Utajärven ja Vaalan kuntien alueen suolakeuksilla on noin 20 km pitkä ja 5 km leveä harju- ja dyynimuodostuma, Rokuanvaara (kuva 26). Alue kuuluu Natura 2000 –verkostoon, ja sen etelälaidalla sijaitsee 400 hehtaarin laajuinen Rokuan kansallispuisto. Kansallispuisto tekee Rokuasta valtakunnallisesti merkittävän ja suositun virkistys- ja matkailualueen (Rokuan luonto, 2004).

Alueen erikoisuuksia ovat myös jyrkkärinteiset harjukuopat eli supat, jotka selittävät pääosin harjualueen järvien syntyhistorian. Supat ovat syntyneet jääkauden loppuvaiheessa erillisten jäälohkareiden sulaessa reunahietikon sisällä. Harjualueella on runsaasti erikokoisia järviä, yhteensä noin 30 yli yhden hehtaarin kokoista järveä tai lampea (kuva 27). Järvet kuuluvat pääosin Oulujoen vesistöalueeseen (nro. 59). Ainoastaan Rokuanjärvi kuuluu Siikajoen vesistöalueeseen (nro. 57).



Kuva 26. Rokuan alueen sijainti.



Kuva 27. Rokuan alueen järvien sijainti sekä Rokuan kansallispuistoalue ja päätiet.

Valtaosa alueen luonnontilaisista järvistä on karuja, vähäravinteisia ja erittäin kirkasvetisiä supp-lampia. Useimmat ovat suljettuja järviä eli niiltä puuttuvat tulo- tai lasku-uomat mahdollisesti tulva-aikaa lukuunottamatta. Vesi suotautuu järviin ja niistä pois hiekkakerrosten läpi. Harjua-alueen järvi-en pinta-alat ja syvyydet ovat varsin vaihtelevia (taulukko 14).

Harjua-alueella on yhdeksän erillisen järven muodostama ketju, joka on pienten purojen yhdistämä. Tähän purojen yhdistämään järviketjuun kuuluvat: Leväsoppinen, Iso-Syväjärv, Lianjärvi, Kota-lampi, Tulijärvi, Kirvesjärvi, Koivujärvet, Holma ja Ahmasjärvi. Ketjun järvet ovat pääosin rehe-vöityneitä, poiketen ympäristön muista järvistä. Tyypillisimpiä rehevöitymisen haittoja ovat järvissä havaitut satunnaiset tai toistuvat levähaitat. Levätuotannon kasvu on aiheuttanut vesien sameuden lisääntymistä ja näkösyvyyden pienentymistä (kuva 28). Happitilanne on heikentynyt, erityisesti talviaikana. Rehevöitymisen aiheuttamat muutokset näkyvät myös kalastossa sekä vesikasvillisuu-nessa. Vedenlaatu on ollut näissä järvissä käyttökelpoisuusluokituksen perusteella hyvä tai tyydyt-tävä. Harjua-alueen rehevimpiä järviä ovat Leväsoppinen, Rokuanjärvi ja Tulijärveen yhteydessä ole-va Kotalampi, joissa vedenlaatu on ollut kaikkein heikoin, ainoastaan välttävä ympäristöhallinnon käyttökelpoisuusluokituksen mukaan. Harjua-alueen pohjoispuolella sijaitsevan Ahmasjärven ravin-nepitoisuudet ovat olleet kaikkein korkeimpia.



Kuva 28. Vasemmassa kuvassa on leväamentuma Iso-Syväjärvellä. Oikealla on kuva Kiviahveroiselta, jossa vesi on erittäin kirkasta. Valokuvat Jouni Näpänkangas 3.9.2003 (vasen) ja Sanna-Maria Paakki 14.9.2003 (oikea).

Taulukko 14. Rokuan alueen järvien pinta-alat, syvyydet, käyttökelpoisuusluokka ja rehevyystaso.

Järvi	Pinta-ala ha	Suurin syvyys m	Käyttökelpoisuus- luokka ¹⁾	Rehevyystaso ²⁾
Ahmasjärvi	370	4,5	välttävä	rehevä
Ahveroinen	3,3	5,0	erinomainen	karu
Holma	1,9	3,5	hyvä	karu
Irvi-Ahveroinen	1,0	11,5	hyvä	karu
Iso-Syväjärvi	11,5	13,0	hyvä	lievästi rehevä
Jaakonjärvi	2,5	8,0	erinomainen	karu
Kirvesjärvi	13,5	10,0	hyvä	rehevä
Kivi-Ahveroinen	5,6	11,0	erinomainen	karu
Koivujärvi (iso)	2,9	6,0	hyvä	lievästi rehevä
Koivujärvi (pieni)	2,3	5,0	hyvä	lievästi rehevä
Kotalampi	2,4	2,0	välttävä	rehevä
Kuikkalampi	0,6	7,0	hyvä	karu
Leväsoppinen	2,3	7,0	välttävä	rehevä / ylirehevä
Lianjärvi	15,1	7,0	hyvä	lievästi rehevä
Loukkojärvi	2,8	10,0	hyvä	karu
Nurkkajärvi	3,9	15,0	erinomainen	karu
Pitkajärvi	1,2	6,5	hyvä	karu
Pitkajärvi (kp) ³⁾	7,9	6,0	erinomainen	karu
Rokuanjärvi	160	5,0	välttävä	rehevä
Saarinen	15,3	25,0	erinomainen	karu
Salminen	25,3	20,0	erinomainen	karu
Soppinen	6,0	6,5	erinomainen	karu
Tulijärvi	24,3	11,0	tyydyttävä	rehevä
Vaulujärvi	9,0	15,0	erinomainen	karu

¹⁾ Ympäristöhallinnon vesien käyttökelpoisuuden yleisluokitus.

²⁾ Forsbergin ja Rydingin (1980) mukaan määritettynä (Taulukko 2)

³⁾ Kansallispuiston Pitkajärvi

Järviketjun ulkopuolisissa, lähinnä karuissa järvissä veden käyttökelpoisuus on ollut erinomainen tai hyvä ja mainittavia rehevöitymisen haittoja ei ole tavattu (kuva 28). Rokuan järvien vedenlaadun pitkäaikaisseurannan perusteella voidaan todeta, että tilanne ei ole juurikaan muuttunut viimeisen 30 vuoden aikajaksolla. Viime vuosina pääosaa näitä karuja suppajärviä on vaivannut vedenvähyys. Esimerkiksi Salminen on asukashavaintojen mukaan noin 1,5 m normaalia vedenkorkeutta alempana. Järvien vedenkorkeus on myös aiempina vuosina vaihdellut paljon ja edellinen matalan veden jakso ajoittuu 1980-luvun alkuun. Vedenkorkeutta on nyt seurattu säännöllisesti vuodesta 2004 alkaen.

Rokuanvaaran topografia on erittäin hyvä pohjaveden muodostumiselle ja muodostuma on antiklininen eli purkava harju. Pohjavesialue on luokiteltu vedenhankintaa varten tärkeäksi, sillä erinomaisen vedenlaadun vuoksi harjun pohjavesi soveltuu sellaisenaan talousvesikäyttöön. Harjualueen järvet ovat yhteydessä pohjavesialueisiin joko suoraan tai välillisesti muodostaen mm. orsivesiesiintymiä. Arvioiden mukaan suurin osa järvistä on suoraan yhteydessä pohjavesialueeseen ja vain pieni osa on orsivesilampia. Orsivesilammet sijaitsevat harjualueen eteläosissa, vaara-alueen korkeimmilla alueilla. Harjualueen pohjavedenkorkeudet ovat hyvin lähellä järvien vedenpinnankorkeuksia. On myös havaittu, että joidenkin järvien laskuojasta lähtevä virtaama on ollut pienempi kuin niihin laskevissa ojissa. Jos pohjavesivyöhykkeeseen yhteydessä olevan järven ja ympäröivän pohjaveden hydraulinen yhteys on hyvä, voi pohjavettä virrata järven pohjan läpi suuriakin määriä. Tällaiset järvet ovat käytännössä osa pohjavesivyöhykettä, jolloin pohjavedenmuodostumisalueiden maankäyttö on huomioitava järvien vedenlaatuun vaikuttavana tekijänä. Pohjaveden muodostumisalue tarkoittaa aluetta, joka kerää sade- ja pintavedet tietyltä alueelta ja muodostaa pohjavesialtaan. Rokuanharjun järvien luonnetta ja yksittäisiä pohjavedenmuodostumisalueita ei ole geofysikaalisesti määritetty.

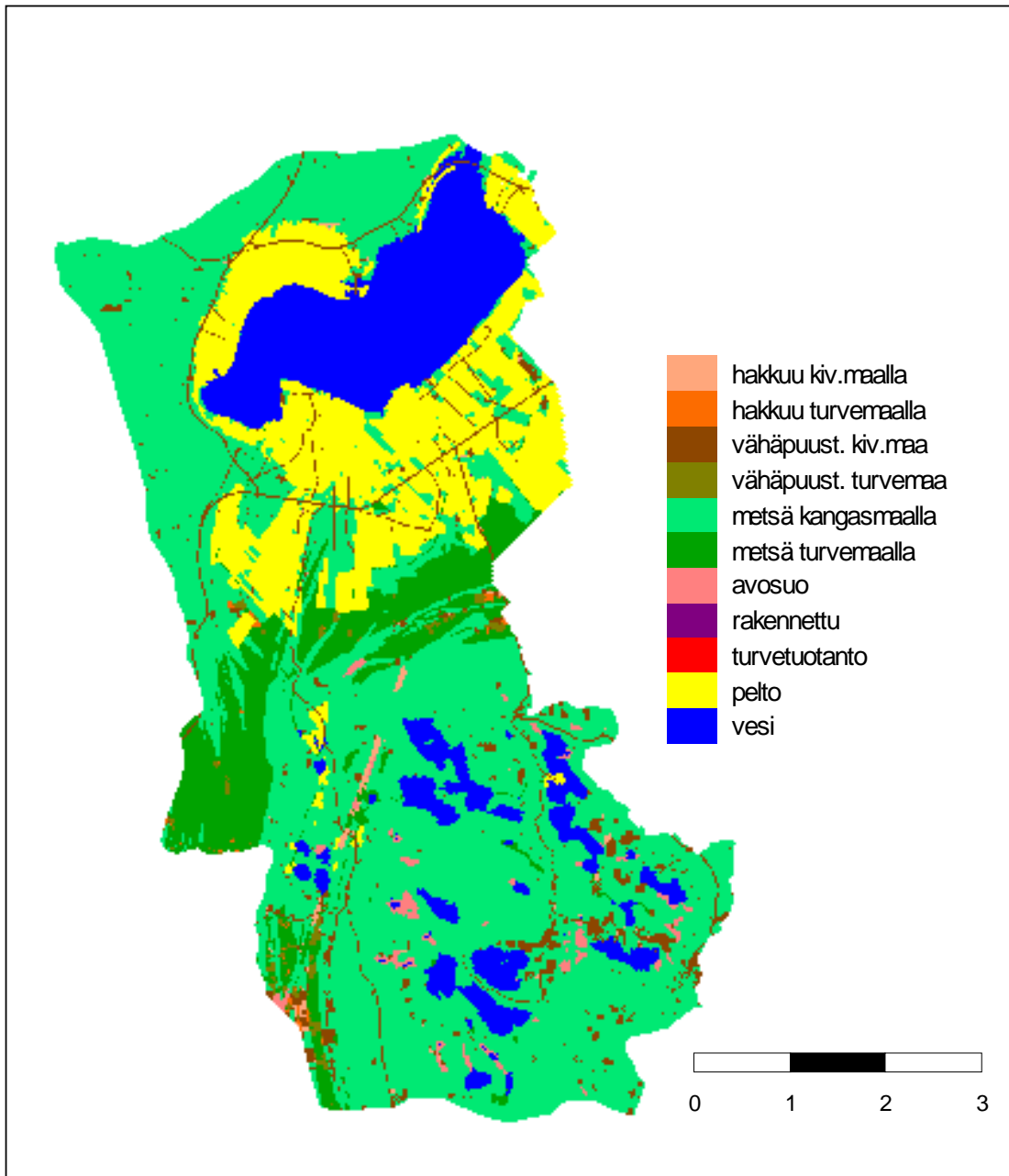
5.2 Rokuan rehevöityneiden järvien kuormitus

Harjualueen järvien lähivaluma-alueiden maankäytön tarkastelu on tehty ilmakeu-aineiston perusteella, joita on maastokäyntien yhteydessä tarkennettu vuonna 2003. Tarkastelussa on käytetty ympäristöhallinnon ilmakeuvia vuodelta 1999 (karttalehti: 3423 04) sekä maanmittauslaitoksen tuottamaa maankäyttö- ja puustotulkinta-aineistoa (kuva 29). Järviin suotautuu runsaasti pohjavettä ja siksi Rokuan alueen kokonaisvaltaisella maankäytöllä on merkitystä järvien kuormitukseen (kuva 30).

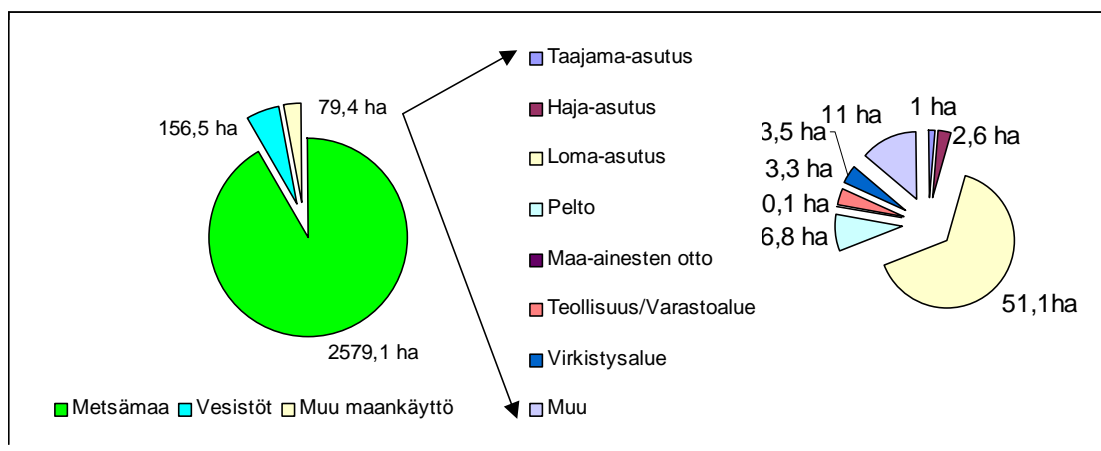
Myös yksittäiset kuormittajat, kuten rantakiinteistöt ja alueen jätevesihistoria on kartoitettu kokonaiskuvan saamiseksi järviin kohdistuvasta kuormituksesta. Rokuan alue on säilynyt kuitenkin var-

sin luonnontilaisena lukuun ottamatta järvien rannoille sijoittunutta loma-asutusta sekä metsäautoiteitä (kuva 29 ja 30). Harjuaalue on pääasiallisesti jäkälää kasvavaa kuivaa mäntykangasta.

Kuormituksen laskennassa on käytetty kullekin maankäytölle tyypillisiä ominaiskuormituslukuja kokonaisravinteille. Luonnonhuuhtouman ominaiskuormituslukuna on käytetty kokonaisfosforin osalta arvoa $0,39 \text{ g ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$ ja kokonaistypen osalta arvoa $6,7 \text{ g ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$ (Halonen & Heikkinen 1997). Muiden maankäyttömuotojen ominaiskuormitukset on laskettu kappaleessa 2.2.1. esitetyllä tavalla.



Kuva 29. Ahmasjärven valuma-alueen maankäyttö. Rokuan harjuaalueen rehevöityneet järvet ovat Ahmasjärven valuma-alueella ($41,6 \text{ km}^2$).



Kuva 30. Rokuan harjualueen pohjaveden muodostumisalueen maankäyttömuotojen jakauma.

Metsätalous

Rokuan harjualueen metsätalous on ollut varsin suppea-alaista ja siitä on tehty selvitys 1990-luvulla (Hiljanen & Hynninen 1993). Tutkimus keskittyi lähinnä alueen rehevän järviketjun valuma-alueille ja lähiympäristöön. Selvityksissä kävi ilmi, että hakkuiden määrä alueella on ollut varsin vähäistä. Kyseisillä alueilla oli tehty vähäisessä määrin sekä kasvatushakkuita että siemenpuuhakkuita. Metsämaan lannoitus on ollut minimaalista, eikä metsäojituksia ole tehty. Metsätalouden aiheuttama vesistökuormitus on arvioitu selvityksen sekä kesän 2003 maastotarkastusten myötä vähäiseksi, lähinnä osaksi luonnonhuuhtoumaa. Metsätaloustoimenpiteiden suunnittelussa tulee kuitenkin kiinnittää erityistä huomiota vesiensuojelutoimenpiteisiin.

Rantakiinteistöt

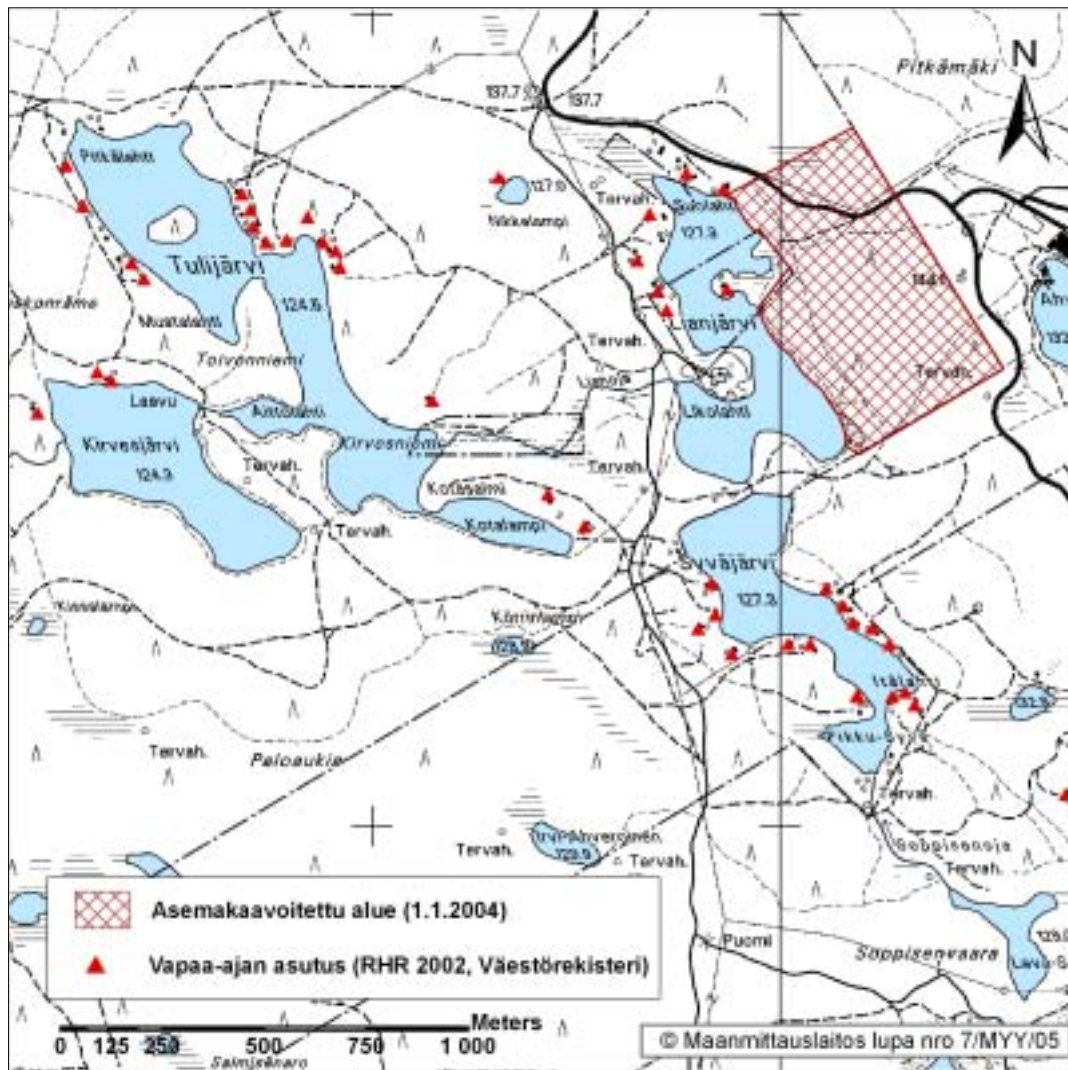
Loma-asutuksen kuormituksen arvioimiseksi on ranta-alueiden maankäyttö ja mökkiasutus kartoitettu vuonna 2002 (Viitamäki & Rouvinen 2002). Kartoitus on tehty kolmella järvellä, Tulijärvellä, Iso-Syväjärvellä ja Salmisella. Kartoituksessa selvitettiin tontin käyttö eli varsinaiset rakennukset, saunarakennukset ja käymälät sekä niiden etäisyys vesistöstä. Lisäksi selvitettiin myös asutuksen jätevesiratkaisuja ja jätehuoltoa.

Tulijärven vapaa-ajanasunnoilla vietetään yhteensä noin 1650 yöpymisvuorokautta vuodessa, Iso-Syväjärvellä noin 1200 ja Salmisella 1090.

Jätevesiratkaisut vapaa-ajanasunnoissa ovat varsin yksinkertaisia, lähinnä imeytyskaivoja ja kivipeisiä. Suurimmalla osalla asunnoista on käytössä kuivakäymälä, joiden jätteet hävitetään pääosin kompostoimalla. Mutta myös yksittäisiä vesikäymälöitä ja niiden umpisäiliöitä on alueella. Tonttien maankäyttö on ollut valtaosin lannoittamatonta metsämaata, lukuun ottamatta pieniä puutarhaviljelmiä ja nurmialueita.

Vapaa-ajanasuntojen veden hankinta on järjestetty pääosin omista kaivoista, ulkopuolta tuomalla sekä jonkin verran järvestä pumpaamalla.

Kaiken kaikkiaan järvien rehevyys ei ole Rokuan alueella suoraan riippuvainen rannoilla olevan loma-asutuksen määrästä. Leväsoppisen rannoilla ei ole ollut lainkaan loma-asutusta, kuitenkin se on alueen rehevin järvi. Kun taas Salminen, jossa loma-asutusta on hyvin runsaasti on erinomaisessa kunnossa (Viitamäki & Rouvinen 2002). Mökkien jätevesiratkaisuihin on kiinnitettävä kuitenkin huomiota etenkin uusilla kaava-alueilla (kuva 31). Toisaalta haja-asutusalueiden jätevesihuollon uudet vaatimukset ovat astuneet voimaan vuonna 2003 ja vähentävät Rokuan alueen järvien kuormitusta.



Kuva 31. Iso-Syväjärven, Lianjärven, Kotalammen, Tulijärven ja Kirvesjärven vapaa-ajanasutus sekä Muhoksen kunnan alueelle asemakaavoitettu Ahveroisenkankaan asemakaava-alue.

Vesi- ja viemäriverkosto

Rokuan alueelle on rakennettu kunnallinen vesi- ja viemäriverkosto 1980. Viemäriverkoston on kuitenkin suppea ja siihen kuuluu lähinnä Rokuan kunto- ja lomakeskuksien alue lähiympäristöineen. Rokuan Kuntokeskus ja Rokuan Lomakeskus sekä hotellialueen rakennukset ovat olleet kunnallisessa vesi- ja viemäriverkostossa 1980 lähtien. Rokuan alueella, Kuntokeskuksen läheisyydessä on toiminut vuosina 1982-1998 oma kemiallinen jätevedenpuhdistamo, minkä toiminnassa on ollut monenlaisia ongelmia. Rokuan alueen jätevesihuollon ongelmien ratkaisemiseksi alueelle rakennettiin siirtoviemäri 1997. Siirtoviemärin rakentamisen valmistuttua Rokuan puhdistamon toiminta lakkautettiin ja nykyään alueen jätevedet pumpataan Utajärven ja Muhoksen kautta Oulun keskuspuhdistamolle.

Muita toimintakeskuksia alueella ovat seurakuntien leirikeskus Saarisen rannalla sekä Oulun NMKY:n maja Vaulujärven rannalla, jotka ovat liittyneet kunnalliseen viemäriverkostoon 1980-alussa.

Kaatopaikka

Rokuan alueen vanha kaatopaikka sijaitsee harjualueen pohjoispuolella. Kaatopaikka on perustettu vuonna 1965 ja lakkautettu 1.9.1992. Kaatopaikka-alueella suoritetaan tarkkailua sulkemislupaehtojen mukaisesti. Kaatopaikalle viety jäte on ollut etupäässä tavallista yhdyskuntajätettä. Kaatopaikka-alueella on tehty pohjavesitutkimuksia (Miettunen 1998). Pohjavedenvirtaussuunnat suuntautuvat pohjoiseen läheisille suoalueille. Kaatopaikalla ei ole todettu olevan epäsuotuisia vesistövaikutuksia alueen järviin.

Järvien ulkoinen kuormitus

Harjualueen maankäyttö on varsin vähäistä lukuun ottamatta paikoin runsasta loma-asutusta (kuva 31). Alueen nykyisellä maankäytöllä ei kuitenkaan ole havaittu olevan erityistä merkitystä järvien tilaan. Ahmasjärvi on ainoa poikkeus, jossa kuormitus tulee pääasiallisesti järveä ympäröiviltä pelloilta. Lähivaluma-alueilta järviin kohdistuva kuormitus on yhteenvedona koottu taulukossa 15. Mukana on myös luonnonhuuhtouma ja sateen suoraan järviin tuoma kuormitus.

Taulukko 15. Rokuan rehevöityneet järvet, niiden lähivaluma-alueiden pinta-alat sekä niihin kohdistuva kuormitus lähivaluma-alueelta. Järvet on lueteltu taulukossa niiden sijainnin mukaan järvi-ketjussa.

Järvi	Lähivaluma-alueen pinta-ala (ha)	Rantakiinteistöt (kpl)	Kuormitus (kg a ⁻¹)	
			Kok. P	Kok. N
Leväsoppinen	6,3	-	3,8	65
Iso-Syväjärvi	14,5	19	20,2	247
Lianjärvi	20	11	37,8	650
Tulijärvi ja Kotalampi	30	20	82,8	1424
Kirvesjärvi	9,3	3	8,2	141
Ahmasjärvi	4 160		38 480	813 280

Sisäinen kuormitus

Rokuanjärvelle on tehty kunnostussuunnitelma, minkä mukaan järven kuormituksesta on 98 % sisäistä kuormitusta (Saarijärvi ym. 2003). Järven rehevöitymishistoriatutkimusten mukaan Rokuanjärvi on rehevöitynyt jo ennen vuotta 660. Järven sedimentissä esiintyy jo 1 m syvyydellä rehevyyttä ilmentäviä piilevälajeja, joiden määrä kasvaa sedimentin pintaan tultaessa (Kauppinen 2005).

Ahmasjärven valuma-alueen peltoalueet on merkittävä kuormitustekijä. Todennäköisesti sisäinen kuormitus on suurta myös tässä järvessä. Sisäinen kuormitus selittää osaltaan Ahmasjärven veden korkeita ravinnepitoisuuksia sekä toistuvia leväsamentumia. Ahmasjärvestä on kehittynyt osittain lintujärvi matalien lahtialueiden vesikasvien levittäytymisen myötä. Sen käyttökelpoisuuden ja tilan parantamiseksi on kunnostus- ja hoitosuunnitelma tekeillä, joten sitä ei tässä työssä käsitellä enempää.

Rokuan harjualueen rehevöityneet järvet eli Leväsoppinen, Iso-Syväjärvi, Lianjärvi, Kotalampi, Tulijärvi ja Kirvesjärvi ovat ulkoisen kuormituksen pienuuden perusteella arvioitu myös sisäkuormitteisiksi. Mitään ulkopuolisia tai maankäytöllisiä selittäviä tekijöitä järven rehevöitymiskehitykselle ei ole löydetty. Reheviin järviin tuleva kuormitus on täysin verrannollinen harjualueen niukkaravinteisiin järviin tulevaan kuormitukseen, joten järviä voitaneen pitää luontaisesti rehevinä. Rokuanjärven ja Salmisessa tehdyt sedimenttitutkimukset tukevat käsitystä järvien luontaisesta rehevyydestä (Kauppinen 2005).

5.3 Rokuan rehevöityneiden järvien erityispiirteet ja tila

Leväsoppisen, Iso-Syväjärven, Lianjärven, Kotalammen, Tulijärven ja Kirvesjärven erityispiirteitä ja tilaa tarkastellaan osana kunnostussuunnittelua. Järvet valittiin suunnittelukohteeksi, koska ne ovat rehevöityneitä ja niiden virkistyskäyttö on Leväsoppista lukuunottamatta laajaa (taulukko 14). Kuitenkin järvien käyttökelpoisuusluokka on alentunut ja niissä on havaittu vedenlaatuongelmia,

lähinnä sinileväkukintoja. Tulijärven kunnostamisesta ovat rantakiinteistöjen omistajat tehneet aloitteen Pohjois-Pohjanmaan ympäristökeskukselle.

Järvien vedenlaatu

Kunnostussuunnittelussa mukana olevien Rokuan järvien vedenlaatua ja merkitystä ranta-asukkaille kuvaa hyvin niistä tehdyt levähavainnot ympäristöhallinnon levähaittarekisteriin. Leväsoppisesta on kaksi havaintoa, molemmat vuodelta 2002, joilloin havainnot tekivät järvellä käyneet tutkijat. Iso-Syväjärveltä on 9 levähavaintoa vuosilta 1991-2003 ja Lianjärveltä on myös 9 havaintoa vuosilta 1997 - 2004. Tulijärveltä havaintoja on yhteensä 13 vuosilta 1992 - 2003. Kotalammesta on 5 havaintoa vuodelta 1998. Kirvesjärveltä on havaintoja vain yksi, joka on vuodelta 2001. Kirvesjärven leväongelmat ovatkin näistä järvistä lievimmät.

Harjualueen järviketjun järvillä on reheville vesille tyypillisesti erinomainen puskurointikyky happamuutta vastaan. Veden alkaliniteetti-arvot ovat korkeita, $0,3 - 0,7 \text{ mmol l}^{-1}$, ja järvet pystyvät siten vastustamaan hyvin happamoitumista. Järvien veden pH-arvot ovat vaihdelleet lievästi happamasta heikosti emäksiseen. Ainoastaan leväesiintymien aikana pH-arvot ovat paikoitellen nousseet jopa lähelle kymmentä (taulukko 16).

Leväsoppisen näkösyvyys on ollut alhainen, vain $0,3 - 1,5$ metriä. Näkösyvyys oli pienimmillään kesällä 2002, joka oli poikkeuksellisen lämmin. Tällöin levät ja muu kasvillisuus samensivat vettä ja pienensivät näkösyvyyttä. Pohjan sameusarvot olivat jopa yli 200 FTU ja myös veden väriluvut olivat korkeita, keskimäärin $1100 \text{ mg Pt l}^{-1}$. Leväsoppisessa sekä sameutta että väriä lisäävät voimakas levätuotanto ja korkea rautapitoisuus.

Leväsoppisen happitilanne on hyvin heikko. Pintaveden happipitoisuus heinäkuussa 2002 oli vain 3 mg l^{-1} ja alusvesi oli täysin hapeton. Näin alhaiset happipitoisuudet ovat jopa särkikaloille vahingollisia. Heikko happitilanne aiheuttaa myös raudan ja fosforin liukenemista sedimentistä. Kesäisin veden rautapitoisuudet pohjan lähellä ovat olleet keskimäärin $55\,000 \mu\text{g l}^{-1}$. Kokonaistyyppipitoisuudet ovat pintavedessä olleet tasolla $700 - 3\,100 \mu\text{g l}^{-1}$ ja pohjan lähellä $780 - 10\,800 \mu\text{g l}^{-1}$. Leväsoppisen nimensä mukaista tilaa ilmentävät a-klorofyllin arvot ovat korkeita. Kesällä 2002 pitoisuus oli $94,1 \mu\text{g l}^{-1}$ (kuva 32) Tämä arvo on monikymmenkertainen erinomaiseen arvoon verrattuna. Leväsoppisen kasviplanktonlajistossa vallitseva laji oli myrkyllinen *Anabaena lemmermannii* -sinilevä ja pienempiä määriä esiintyi *Aphanothece clathrata* -sinilevää.

Taulukko 16. Rokuan alueen rehevöityneiden järvien vedenlaatu 2000 –luvulla. Taulukossa merkintä "Kesä" kuvaa lähinnä avovesikauden keskiarvoja ja "Talvi" jääpeitteisen kauden keskiarvoja.

Järvi ja näytteenotto- syvyys	pH		Happipitoisuus (mg l ⁻¹)		Kokonaisfosfori- pitoisuus (µg l ⁻¹)		Fosfaattifosfori- pitoisuus (µg l ⁻¹)		Havaintoker- tojen luku- määrä (kpl)
	Kesä	Talvi	Kesä	Talvi	Kesä	Talvi	Kesä	Talvi	
Leväsoppinen									
- pinta	8,0	-	8,8	-	69,1	-	15,4	-	9
- pohja	6,6	-	0,0	-	543	-	478	-	9
Iso-Syväjärvi									
- pinta	7,9	6,7	10,2	6,9	24,4	19,5	7,3	15,0	9
- pohja	6,5	-	0,0	0,0	122	67,5	83,9	-	9
Lianjärvi									
- pinta	7,1	6,8	9,4	8,7	18	11	4	3	2
- pohja	7,1	6,8	9,3	0,3	14	10	3	-	1
Kotalampi									
- pinta	7,0	-	9,5	-	73	-	24	-	1
- pohja	-	-	-	-	-	-	-	-	0
Tulijärvi									
- pinta	8,2	6,8	9,8	5,41	38	28	7,3	19,9	12
- pohja	6,6	-	0,0	0,0	94	147	57,3	-	9
Kirvesjärvi									
- pinta	7,3	6,7	9,6	8,9	50	15	25	14	3
- pohja	7,4	-	9,5	0,0	41	130	22	-	2

Iso-Syvjäjärvi on vähähumuksinen ja kirkasvetinen. Näkösyvyys on seurantajakson aikana ollut 1 - 4 metriä. Järvessä on esiintynyt alusveden hapettomuutta, mutta pintavedessä on happipitoisuus ollut loppukevällä noin 3 - 6 mg l⁻¹ ja kesällä noin 10 mg l⁻¹ (taulukko 16). Pohjan läheisten vesikerrosten rautapitoisuudet ovat olleet tasolla 10 - 55 mg l⁻¹ ja myös väriluku on ollut korkea koko seurantajakson ajan, vaihdellen 160 - 700 mg Pt l⁻¹ välillä. Kokonaistypen pitoisuudet ovat pintavedessä olleet läpi vuoden välillä 340 - 680 µg l⁻¹ ja pohjan läheisessä vedessä 420 - 3 900 µg l⁻¹. Veden a-klorofyllin pitoisuudet ovat olleet alhaisia, korkein arvo mitattiin vuonna 2002, jolloin se oli 15,2 µg l⁻¹ (kuva 32). Järvessä on esiintynyt toisinaan myrkyllisiä sinileväkukintoja. Järvessä esiintyi vuonna 2002 *Anabaena flos-aquae*- ja *Anabaena affinis*- sinilevää sekä rehevyyttä indikoivaa *Fragilaria crotonensis*- piilevää.

Lianjärven veden humuspitoisuus on alhainen ja vesi on kirkasta, näkösyvyyden ollessa lähes 4 m. Alusveden happitilanne on ollut loppukevällä ja kesällä heikko, mutta pintaveden happipitoisuus on säilynyt vähintään tyydyttävällä tasolla vaihdellen 5 - 10 mg l⁻¹ (taulukko 16). Järven kokonaistyyppipitoisuudet ovat olleet läpi vuoden välillä 290 - 500 µg l⁻¹. Veden a-klorofyllipitoisuudet ovat olleet alhaiset koko seurantajakson ajan, 3 - 7 µg/l (kuva 32). Järvessä on kuitenkin esiintynyt useana vuonna sinileväkukintoja, kuten myrkyllistä *Anabaena circinalis*-sinilevää.

Tulijärven veden humuspitoisuus on alhainen, mutta vesi ei kuitenkaan ole kirkasta, näkösyvyyden vaihdeltaessa 0,5 - 3,5 m välillä. Pintaveden väriluvut ovat olleet yleensä 20 - 50 mg Pt l⁻¹ ja alusveden väriluku on maksimissaan ollut 700 mg Pt l⁻¹. Veden sameusarvot ovat olleet korkeimmillaan 50 FTU. Pintaveden happipitoisuus on yleensä ollut riittävä, mutta pohjan läheisyydessä on koko seurantajakson ajan esiintynyt hapettomuutta kesä- ja talvikerrostuneisuuden aikana. Alusveden rautapitoisuus on ollut jatkuvasti korkea, 1 500 - 26 000 µg l⁻¹. Ravinteiden ja a-klorofyllin pitoisuudet ovat Tulijärvessä korkeita. Seurantajakson aikana pintaveden fosforipitoisuus on ollut 25 - 55 µg l⁻¹. Hapettomuuden vuoksi alusveden fosforipitoisuudet ovat nousseet jopa lukemiin 200 - 300 µg/l (taulukko 16 ja kuva 32). Myös typen pitoisuudet ovat olleet korkeita, 250 - 900 µg/l. Veden a-klorofyllin arvot ovat vaihdelleet välillä 5 - 51 µg l⁻¹ ja Tulijärvessä on esiintynyt jatkuvasti runsaita myrkyllisiä sinileväkukintoja. Niiden aiheuttajia ovat olleet muun muassa *Anabaena circinalis*- ja *Anabaena lemmermannii*-sinileväkannat.

Kotalammen näkösyvyys on ollut noin 1 metrin ja väriluku tasolla 20 - 60 mg Pt l⁻¹. Lammen happipitoisuus on pintavedessäkin loppukeväisin ollut toistuvasti heikko vaihdellen välillä 1 - 1,4 mg l⁻¹. Kokonaisfosforipitoisuus on ollut välillä 60 - 170 µg l⁻¹, kuvastaen rehevää ympäristöä. Kokonaistyyppipitoisuudet ovat olleet tasolla 400 - 1 700 µg l⁻¹. Lammessa on ollut toistuvia sinilevähaittoja ja veden a-klorofyllipitoisuudet ovat olleet keskimäärin 50 µg l⁻¹. Valtalajeina sinilevähavainnoissa ovat olleet muun muassa *Anabaena solitaria*- ja *Anabaena lemmermannii*-sinileväkannat.

Kirvesjärven veden humuspitoisuus ja sameus ovat pieniä. Näkösyvyys onkin vaihdellut 2 - 4 metrin välillä. Alusveden väriluvut ja sameusarvot ovat kesäisin olleet korkeita, väriluku 80 - 200 mg Pt l⁻¹ ja sameus 29 - 42 FTU. Alusveden happipitoisuus on ollut ajoittain alhainen ja pintaveden happipitoisuus on ollut loppukeväisin 5 - 8 mg l⁻¹ (taulukko 16). Pohjan läheisen veden hapettomuuden seurauksena myös rauta- ja ravinnepitoisuudet ovat olleet korkeita. Veden rautapitoisuuden arvot ovat olleet 3 200 - 6 900 µg l⁻¹ ja tyyppipitoisuudet tasolla 150 - 250 µg l⁻¹. Kokonaisfosforipitoisuus vuonna 2001 oli seurantajakson korkein, 50 µg l⁻¹, jolloin a-klorofyllipitoisuuskin 40 µg l⁻¹. Kirvesjärven a-klorofyllipitoisuus on kasvanut viime vuosina huomattavasti. Aiemmin se on ollut

alle $10 \mu\text{g l}^{-1}$, mutta nyt se on $40 \mu\text{g l}^{-1}$. Kirvesjärvessä ei ole ollut mainittavia levähaittoja, mutta a-klorofyllitason kohoaminen antaa ensimmäisiä merkkejä rehevyyden lisääntymisestä.

Kalasto

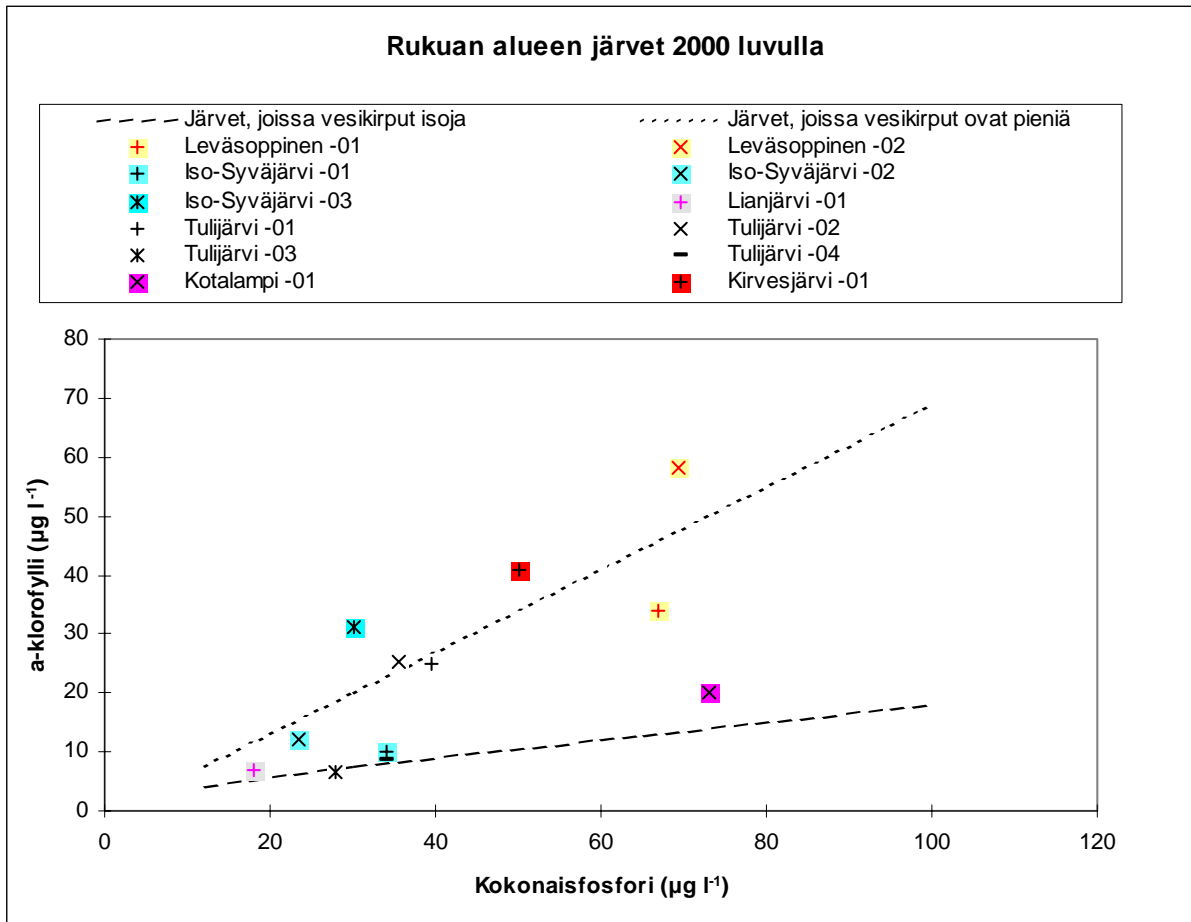
Leväsoppisen, Iso-Syväjärven, Tulijärven ja Salmisen kalastoa selvitettiin koeverkkokalastuksin kesällä 2002 nordic-yleiskatsausverkoin (Viitamäki & Rouvinen 2002). Samoille järville tehtiin vuosina 1990 – 1991 myös kalastotutkimus, minkä mukaan Iso-Syväjärvessä, Tulijärvessä ja Salmisessa on luontaisesti ahventa ja haukea ja Leväsoppisessa ahventa.

Iso-Syväjärven koeverkkokalastuksen yksikkösaalis oli 3,4 kg ja yksilömäärä 132 kappaletta. Ahvenia (*Perca fluviatilis*) kokonaissaaliista oli noin 48 % ja särkiä (*Rutilus rutilus*) noin 52 %. Lukumääräisesti ahvenia oli huomattavasti enemmän (78 %), sillä niiden keskimääräinen paino olikin alle 20 g. Särkien keskimääräinen paino oli 72,4 grammaa. Leväsoppisessa kalasto särkivaltaista, noin 90 % kokonaispainosta. Särkien keskimääräinen paino on 30,6 grammaa, kun vastaavasti ahvenien keskipaino oli 20,5 grammaa. Tulijärven yksikkösaalis oli 3,3 kg ja yksilömäärä 231 kappaletta. Tulijärveä koekalastettiin kahdella verkkosarjalla, mutta pohjanläheiseen vesikerrokseen viritetyllä verkolla ei saatu saalista lainkaan, lähinnä veden hapettomuuden vuoksi. Saaliin kokonaispainosta 68,6 % oli särkiä, 44,4% ahvenia ja 0,7 % kiiskiä. Lukumääräisesti särkiä ja ahvenia oli saaliina lähes yhtä paljon, sillä särjet painoivat keskimäärin 18,6 grammaa, ahvenet 9,7 grammaa ja kiisket vain 4,8 grammaa.

Iso-Syväjärveen ja Tulijärveen on vuonna 2000 istutettu 20 kg kirjolohta ja 200 järvitaimenta, joiden yksilöpaino oli noin 1 kg. Lisäksi myöhemmin syksyllä istutettiin vielä 50 kg kirjolohta, jotka olivat yksilöpainoltaan noin 1,5 kg. Vuonna 2001 istutettiin 600 planktonsiikaa ja 100 järvitaimenta sekä keväällä 2002 kirjolohta 20 kg. Kesän 2002 koekalastuksissa saaliiksi saatiin vain järville luontaisia kaloja, ei istutettuja kalalajeja.

Lianjärven ja Kirvesjärven kalastorakennetta ei ole tutkittu, mutta sen voi olettaa olevan hyvin samanlainen kuin muidenkin alueen lievästi rehevien järvien. Pääosa kalastosta lienee pienikokoista ahventa. Kotalammen kalastorakennetta ei ole selvitetty. Kotalampi ja Tulijärvi on ovat Kotalalmen välityksellä yhteydessä toisistaan ja todennäköisesti että niiden kalastorakenne on varsin samanlainen.

Järvien ravintoketjukurkennostuksen mahdollisuuksia voidaan arvioida Sarvalan ym. (1997) kehittämän käyrästä avulla (kuva 32). Lähes kaikille Rokuan alueen rehevöitylle järville voi suositella ravintoketjukurkennostamista kalastorakenteen tervehdyttämiseksi, sinilevä laidunnuksen lisäämiseksi ja sisäisen kuormituksen hillitsemiseksi (kappale 2.1.3.)



Kuva 32. Leväsoppisen, Iso-Syväjärven, Lianjärven, Tulijärven, Kotalammen sekä Kirvesjärven kokonaisfosforin ja a-klorofyllin välinen riippuvuus kunkin vuoden kesäkaudella määritettynä Sarvalan ym. (1997) mukaisesti.

Järvien vesikasvillisuus

Leväsoppisen vesikasvillisuus on runsasta. Valtalajina ovat ulpukat ja rantavedet ovat melkein kokonaan niiden peitossa (kuva 33). Karuille järville ominaisista pohjaruusuksikasveista esiintyy Leväsoppisessa ainoastaan lahnaruohoa, sekin hyvin harvana kasvustona järven itäpohjukassa. Lisäksi järvessä on saroja, vehkaa, kurjenjalkaa, terttualpia, sammalia, suohorsmaa, heinävitaa ja jonkun verran myös metsäkortetta. Ilmaversoisia kasveja on tiheinä kasvustoina kaikissa järven kolmessa kulmassa.

Iso-Syväjärvessä on kasvillisuutensa puolesta kaksi erityyppistä osaa. Pikku-Syvällä, jonne Leväsoppisesta tuleva uoma laskee, on vesikasvillisuus huomattavasti tiheämpää kuin muualla. Siellä esiintyy runsaasti korkeita ravinnepitoisuuksia indikoivia karvalehtilauttoja. Lisäksi siellä on paljon kelluslehtisiä palpakoita ja ulpukoita. Paikoitellen Iso-Syväjärvessä esiintyy runsaasti myös heinävitaa, saroja ja vehkaa. Muu kasvillisuus järvessä ei ole niin häiritsevän runsasta. Iso-Syväjärven

ranta-alueen pohja on paikoin hajoavan kasvimassan peitossa. Rantojen puusto kasvaa veden yllä ja osa jopa kokonaan järvessä. Syksyisin ne pudottavat lehtensä järveen, mikä lisää osaltaan veden ravinnepitoisuutta.

Tulijärven vesikasvillisuus on monipuolista, siellä esiintyy sekä reheville että karuille järville tyyppillisiä lajeja, kuten irtokellujia ja pohjaruusuokekasveja. Runsainta kasvillisuus on pienissä lahdissa sekä tulevan ja laskevan ojan suilla. Esimerkiksi Aittolahdessa veneily ja muu alueen virkistyskäyttö on liian tiheiden vesikasvustojen vuoksi vaikeaa. Koko järven alueella esiintyy paikoin runsaastikin ulpukkaa ja palpakkoa sekä erityisesti Kirvesniemen alueella karvalehteä. Ilmaversoisista kasveista runsaimpina kasvavat sarat ja vehka. Uposkasveista heinävitaa esiintyy vähäisiä määriä. Karuille ja kirkasvetisille järville ominaista lahnaruohoa esiintyy melkein koko järven alueella, ei kuitenkaan rehevissä lahdissa. Paikoin rannoilla olevien puiden lehvästöt roikkuvat veden yllä ja osa puista on jopa kaatunut veteen.

Lianjärven, Kotalammen ja Kirvesjärven vesikasvillisuutta ei ole tämän tutkimuksen yhteydessä laajemmin selvitetty. Maastokäynnillä heinäkuussa 2004 erityisesti Kotalammen kasvillisuus havaittiin yleisilmeeltään runsaaksi ja Kotasalmi lähes umpeenkasvaneeksi (kuva 33). Tulijärven ja Kotalammen ranta-asukkaat ovat eri yhteyksissä esittäneet häiritsevien vesikasvustojen poistamista.



Kuva 33. Leväsoppisen luusua (A) ja Kotasalmi (B) ovat lähes umpeenkasvaneet. Valokuvat Arja Männikkö 23.7.2004.

Järvien hydrologia ja morfologia

Maasto Rokuan harjualueella on erittäin vaihtelevaa topografialtaan. Useimmat järvet sijaitsevat ympäröivää maastoa huomattavasti alempana. Maanpinnan taso saattaa olla sadan metrin päässä järvestä jo kymmeniä metrejä korkeammalla kuin järven pinnan taso. Järvien lähivaluma-alueet rajautuivat siten suhteellisen pienialaisiksi (taulukko 15). Korkeuseroista ja alueen maaperästä johtuen merkittävä osa valunnasta suotautuu pohjavedeksi.

Rokuanvaaran pohjavesialueen (nro: 11494051) kokonaispinta-ala on 42,01 km² ja muodostumisalueen pinta-ala 28,16 km². Muodostuma on akviferityypiltään antiklininen eli ulospäin purkava harju, jonka antoisuudeksi on arvioitu noin 23 000 m³ d⁻¹ (Maa ja Vesi Oy 1987). Tämän vuoksi pohjaveden virtaus suuntautuu pääasiallisesti harjualueen reunoille. Pohjavedenpinta kaareutuu pohjavesihavaintojen mukaan ylöspäin niin, että pohjavettä purkautuu lähteinä reuna-alueiden soille, jota lisäävät runsaat intensiiviset suo-ojitukset. Antiklinisten harjujen viereiset alueet ovat usein soistuneita, johon harjualueen pohjavedet suotautuvat laaja-alaisesti. Säräisniemen kohdalla pohjavettä purkautuu Oulujärveen. Rokuan vaaralta poispäin johtavia laskuojia tai yksittäisiä lähteitä on runsaimmin harjun koillisreunalla. Muualla harjun reunaosilla on purkaumispaikkoja varsin vähän. Pohjaveden päävirtaussuunta yhtyy harjun pituussuuntaan ollen länsiluode (Tuomikoski 1987).

Harjualueen järvet ovat yhteydessä pohjavesialueeseen joko suoraan tai välillisesti muodostaen orsivesialtaita. Harjualueen pohjavedenkorkeuskäyrät ovat kuitenkin hyvin lähellä järvien pinnankorkeuksia. Jos pohjavesivyöhykkeeseen yhteydessä olevan järven ja ympäröivän pohjaveden hydraulinen yhteys on hyvä, voi pohjavettä virrata vesistöjen läpi suuriakin määriä, mikä vaikuttaa oleellisesti veden viipymään järvessä. Yksittäisille järville on määritetty järvikohtaiset pohjavedenmuodostumisalueet (Miettunen 2003) (liite 2). Muodostumisalueiden rajaaminen on tehty pohjavedenkorkeuskäyrien perusteella. Pohjavedenkorkeuskäyrät on määritelty vuonna 1982 tehtyjen tutkimusten perusteella, jolloin Rokuan harjualueella tehtiin pohjavesi- ja maaperätutkimuksia vedenhankintaa varten. Selvitysten perusteella on arvioitu Leväsoppisen, Iso-Syväjärven, Lianjärven, Kotalammen, Tulijärven ja Kirvesjärven olevan suorassa yhteydessä pohjaveteen.

Järvien veden viipymän arvioimiseksi määritettiin järvien syvyys-suhteet Salosen (1973) tekemien kaikuluotausten ja mittausten perusteella. Veden viipymä järvissä on pääsääntöisesti pitkä eli yli 1 vuoden. Kuitenkin Leväsoppisen viipymä on arvioitu lyhimmillään 6 kuukaudeksi (taulukko 17).

Järvien pinta-alasuhteiden määrittämiseksi laskettiin yli 6 m syvempien alueiden laajuus (taulukko 18). Nämä alueet kuvaavat Håkansonin ja Janssonin (1983) kuvaamia akkumulaatioalueita, mutta laskelmien yksinkertaistamiseksi käytettiin kaikilla järvilla samaa rajasyvyyyttä 6 m (kappale 2.2.3.).

Taulukko 17. Järvien veden teoreettinen viipymä laskettuna lähivaluma-alueen sekä järviä ympäröivän pohjaveden muodostumisalueen perusteella.

Järvi	Teoreettinen viipymä (a)	
	Lähivaluma-alue	Pohjaveden muodostumisalue mukana
Leväsoppinen	2,5	0,5
Iso- Syväjärvi	10	2
Lianjärvi	4	1,5
Tulijärvi ja Kotalampi	4,5	1,5
Kirvesjärvi	24	5

Taulukko 18. Järvien syvänealueiden pinta-alat suhteessa kokonaispinta-alaan sekä järvien syvyys.

Järvi	Pinta-ala	Syvänealueen pinta-ala	Syvänealueen osuus	Suurin syvyys
	ha	ha	%	m
Leväsoppinen	2,3	-	-	6
Iso-Syväjärvi	11,7	3,3	28	13
Lianjärvi	14,6	0,3	2	7
Tulijärvi	24,3	1,9	8	11
Kotalampi	2,4	-	-	2
Kirvesjärvi	13,0	5,0	38	10

5.4 Loma-asukkaiden halukkuus osallistua järven kunnostustoimiin

Vuonna 2002 Rokuan järvien tilan selvityksen yhteydessä tehtiin Iso-Syväjärven ja Tulijärven loma-asukkaille kyselytutkimus, jossa kartoitettiin kiinteistöjen teknisten tietojen lisäksi myös asukkaiden mielipiteitä järvien tilasta. Kyselyssä selvitettiin mielipiteitä ja ehdotuksia siitä, miten vesistön tilaa voitaisiin kohentaa ja mitä asukkaat itse voisivat tehdä asian hyväksi. Sekä Iso-Syväjärven että Tulijärven loma-asukkaista valtaosa oli järven kunnostamisen kannalla. Heidän mielestään järven tila on viime aikoina oleellisesti huonontunut. Yhteisenä huolenaiheena on loma-asukkailla ollut alueella sijaitsevien yritysten, kuten hotellin ja kuntokeskuksen vuosien varrella maastoon laskemat jätevedet.

Iso-Syväjärven loma-asukkaat mainitsivat rehevöitymisen aiheuttajaksi ennen muuta Leväsoppisen. Muina syinä järven tilan huonontumiseen mainittiin järven yllä roikkuvat rantalepikot, rantojen

omatoiminen ruoppaus ja mökit, jotka sijaitsevat liian lähellä rantaviivaa. Järven kunnostustoimenpiteiksi loma-asukkaat ehdottivat roskakalan poistopyyntiä sekä pyykkien- ja mattojen pesun kieltämistä rannoilla.

Tulijärven loma-asukkaat olivat sitä mieltä, että järven tila ei ole huonontunut heidän vuokseen. He hoitavat ympäristöasiat mielestään mallikkaasti. Asukkaat ovat tehneet järvellä joitakin kunnostustoimia. He ovat kalastaneet roskakalaa ja keränneet kasvilauttoja rannoilta. Tulijärven loma-asukkaat ovat olleet myös ulospäin aktiivisimpia. Pienten kunnostustoimenpiteiden lisäksi he ilmaisivat huolensa järven tilasta vuonna 2000 tekemällä kunnostusaloitteella.

Kesäkuussa 2004 pidettiin Rokualla Pohjois-Pohjanmaan ympäristökeskuksen, Muhoksen ja Utajärven kuntien sekä Rokuan ympäristöjaoksen toimesta yleisötilaisuus, jossa kerrottiin muun muassa järvien tilasta ja kunnostamismahdollisuuksista. Tilaisuudessa oli runsaasti osanottajia, noin 50 kuulijaa. Keskeisin puheenaihe oli tilaisuudessa Rokuan alueen järvien liian matala vedenkorkeus. Kunnostamismahdollisuudet herättivät vähemmän keskustelua ja kiinnostus talkootyöhön järvien tilan parantamiseksi tuntui olevan vaisua. Kunnostushalukkuutta tarkennettiin erillisellä kyselyllä (Kortsalo & Pakarinen 2004). Vastauksia kyselyyn saatiin 13 kappaletta, mikä vastaa 26 % tilaisuuteen osallistuneista. Vastaukset ja erityisesti niiden jakautuminen 12 alueen eri järvelle kuvannee tilannetta Rokualla. Tiivistettynä kunnostustoimiin haluttiin osallistua talkootyönä, mikäli järviin tehtävät toimenpiteet ovat keveitä ja tarvittava työmäärä on kohtuullinen. Erään vastaajan mukaan kesämökki on lepo ja rentoutumista varten, jolloin 1-2 talkoopäivän tekeminen vuodessa olisi sopiva työmäärä.

Hankesuunnitteluvaiheessa, kun tarvittava talkootyömäärä on tarkemmin selvillä, on kunkin järven loma-asukkaiden sitoutuneisuus talkootyöhön selvitettävä erikseen. Myös alueen kuntien taloudellinen sitoutuminen järvien kunnostamiseen on hankesuunnitteluvaiheessa selvitettävä.

5.5. Rokuan rehevöityneiden järvien kunnostusmahdollisuudet

Seuraavassa on käsitelty järvikohtaisesti niiden kunnostuksen lähtökohtia, reunaehtoja ja mahdollisia kunnostustoimenpiteitä. Tehokalastuksen saalistavoitteet ja eri kunnostusmenetelmien kustannukset on koottu liitteessä 1 olevista menetelmätiedoista sekä kohdan 5 alussa olevista lähteistä. Kustannustietoja ei ole päivitetty kevään 2005 indeksitasoon, vaan ne ilmaisevat lähinnä kustannusten suuruusluokkaa.

Järvikohtaisia yleisötilaisuuksia asukaslähtöisten valintaperusteiden määrittämiseksi ei ole vielä toukokuussa 2005 pidetty, joten asukaslähtöisiä valintaperusteita ei tässä työssä esitetä.

5.5.1. Leväsoppinen

Kunnostamisen tarve ja tavoitteet

Leväsoppisen kunnostamisen tavoitteena on vähentää järven leväkukintoja ja vesikasvillisuutta sekä alentaa veden ravinnetasoa. Näillä toimenpiteillä vähennetään Leväsoppisesta Iso-Syväjärveen lähtevää kuormitusta.

Kunnostamisen reunaehdot

Leväsoppisen alue kuuluu harjujen- ja rantojensuojeluohjelmaan eli on Natura 2000 aluetta. Alue on perustettu yksityisenä Soppisen luonnonsuojelualueena (YSA 118332). Lisäksi alue on maakunnallisesti merkittävä kulttuurihistoriallinen alue ja ensimmäisen luokan pohjavesialuetta. Alueella ei ole havaittu uhanalaisia tai suojeltavia kasvi- tai eläinlajeja, vaan suojelu perustuu luontotyyppien suojeluun. Kunnostamisen reunaehtoien merkitystä eri kunnostamistoimiin on arvioitu liitteessä 3.

Teknistaloudellisesti sopivat menetelmät

Leväsoppiseen teknistaloudellisesti soveltuvia kunnostusmenetelmiä ovat hapetus, ravintoketjukunnostus, fosforin kemiallinen saostaminen sekä kokeilukohteena sedimentin pöyhintäkemikalointi. Muut menetelmät todettiin soveltumattomiksi Leväsoppisen kunnostamiseen (liite 3).

Leväsoppista tulisi hapettaa ympärivuotisesti, sillä järven nykyinen happitilanne on heikko. Hapetuksella voidaan vähentää ravinteiden vapautumista sedimentistä, ja siten osaltaan vähentää järvestä ulos virtaavaa kuormitusta. Hapettimen tarvitsema sähköliittymä on kohteessa helppo järjestää, sillä järven läheisyydessä kulkee sähkölinja. Kustannukset järven ympärivuotisesta hapettamisesta ovat noin 1 000 euroa a^{-1} . Lisäksi hapetuslaitteen toimivuus tulee paikallisin voimin tarkastaa säännöllisesti.

Ravintoketjukunnostuksella voidaan korjata Leväsoppisen vinoutunut kalastorakenne ja samalla vähentää leväkukintoja (kuva 32). Tehokalastusjakson aikana, 2 vuotta, järvestä tulisi poistaa särkikaloja noin 350 kg a^{-1} . Tämän jälkeen viidestä kymmeneen vuotta kestävä hoitokalastusjakson aikana kaloja olisi poistettava noin 120 kg a^{-1} . Tehokalastusjakson kustannukset ovat noin 2 000 € a^{-1} ja hoitokalastusjakson kustannukset jäänevät alle 500 € a^{-1} . Kustannuksia on mahdollista pienentää talkootyöllä, erityisesti hoitokalastusjakson aikana. Ennen ravintoketjukunnostuksen aloittamista on Leväsoppiselle raivattava apajapaikat. Pääosin vesikasvien niitosta koostuvan raivaustyön kustannuksiksi on arvioitu 1 000 € ja raivaustyö olisi uusittava tarvittaessa vuosien kuluessa.

Leväsoppisen veden fosforin kemiallisella saostamisella voidaan vähentää järvestä ulosvirtaavan veden fosforipitoisuutta merkittävästi. Veden arvioitu viipymä järvestä on kuitenkin lyhyt, mikä heikentää saavutetun tilan pysyvyyttä. Sopiva fosforin saostuskemikaali on alumiinikloridi ja tarvittava kertakäsittelyannos on 460 - 4 600 kg. Tarkka annostus määritetään hankesuunnitteluvaiheessa

astiakokein. Kustannukset jäänevät kokonaisuudessaan alle 5 000 €, josta kemikaalien osuus on noin 1 400 €.

Järven sedimentin kemikaalipöyhintä on kokeiluasteella oleva kunnostusmenetelmä, josta on saatu tähän mennessä lupaavia tuloksia rehevissä järvissä, esimerkiksi Kuusamon Nälkämölammissa. Menetelmä mahdollistaa moninkertaisen kemikaalin annostuksen veden fosforin kemialliseen saostamiseen verrattuna ja siten oleellisesti vähentää ravinteiden vapautumista sedimentistä. Menetelmän käyttö edellyttää sedimenttitutkimusten sekä astiakokeiden tekemistä sopivan annostuksen löytämiseksi. Pöyhintäkemikaloinnin kokonaiskustannukset ovat tasolla 10 000 €.

5.5.2. Iso-Syväjärvi

Kunnostamisen tarve ja tavoitteet

Iso-Syväjärven kunnostamisen tavoitteena on pitää yllä järven hyvää virkistyskäyttöarvoa. Sinileväkukintojen ehkäiseminen, vesikasvillisuuden vähentäminen ja rehevöitymiskehityksen hidastaminen ovat järven kunnostamisen realistisia tavoitteita.

Kunnostamisen reunaehdot

Iso-Syväjärven alue kuuluu osittain harjujen- ja rantojensuojeluohjelmaan eli on Natura 2000 aluetta. Lisäksi alue on maakunnallisesti merkittävä kulttuurihistoriallinen alue ja ensimmäisen luokan pohjavesialuetta. Alueella ei ole havaittu uhanalaisia tai suojeltavia kasvi- tai eläinlajeja, vaan suojelu perustuu luontotyyppien suojeluun. Kunnostamisen reunaehtojen merkitystä eri kunnostamistoimiin on arvioitu liitteessä 4.

Teknistaloudellisesti sopivat menetelmät

Iso-Syväjärveen soveltuvia kunnostustoimenpiteitä ovat ravintoketjukunnostus, hapetus ja vesikasvien niitto. Muut kunnostustoimenpiteet olivat järven ongelmiin nähden liian rajuja tai kohteeseen soveltumattomia. Eri kunnostusmenetelmävaihtoehtojen arviointi on esitetty liitteessä 4.

Iso-Syväjärven kalakannasta noin puolet on särkiä, joten ravintoketjukunnostus on tarpeellinen toimenpide järven kalakannan parantamiseksi sekä sinilevähaittojen vähentämiseksi (kuva 32). Tehokalastusjakson aikana järvestä tulisi poistaa särkikaloja noin $1\,100\text{ kg a}^{-1}$ ja hoitokalastusjakson aikana noin 230 kg a^{-1} . Tehokalastusjakson kustannukset ovat noin $9\,000\text{ € a}^{-1}$ ja hoitokalastusjakson kustannukset jäänevät alle $1\,500\text{ € a}^{-1}$. Kustannuksia on mahdollista pienentää talkootyöllä, erityisesti hoitokalastusjakson aikana. Lisäksi osan kustannuksista voidaan kattaa pidättäytymällä kalastutuksista ja kohdentamalla niihin ohjattua rahoitusta järven kunnostamiseen. Myöhemmin kalastutuksissa kannattaa suosia petokalalajeja, jotka harventavat särkipopulaatiota riittävästi. Ennen ravintoketjukunnostuksen aloittamista on järvelle raivattava apajapaikkoja. Pääosin vesikasvien

niitosta, mutta myös rantaveteen kaatuneiden puiden raivauksesta muodostuvan raivaustyön kustannuksiksi on arvioitu 2 - 4 000 € (kuva 34.) Raivaustyö olisi uusittava vesikasvien niiton osalta vuosittain.



Kuva 34. Rokuan alueen järvien rannoilla on runsaasti veteen kaatuneita puita. Puiden kaataminen jälle liittyy alueella harjoitettuun poroelinkeinoon ja porojen talviruokintaa. Ravintoketjukurin-
tuksen apajapaikat on pääsääntöisesti ensin raivattava. Valokuva on otettu Iso-Syväjärven pohjois-
päädyistä kaakkoon. Valokuva Arja Männikkö 23.7.2004.

Iso-Syväjärven hapettaminen talvisin on suositeltavaa alusveden heikon happitilanteen vuoksi. Hapetuksesta aiheutuvat kustannukset ovat vuositasolla noin 2 400 euroa.

Järven virkistyskäyttöä haittaavan vesikasvillisuuden vähentäminen on erityisesti Pikku-Syväällä ja Itälähdessä perusteltua. Vesikasvien niiton kustannukset ovat niittokertaa kohden noin 1 500 €. Hyvän niittotuloksen saavuttamiseksi tulisi järvi niittää 1-2 kertaa kesässä 2-4 vuoden ajan, jolloin niittohankkeen kokonaiskustannukset ovat noin 8 000 €.

5.5.3. Lianjärvi

Kunnostamisen tarve ja tavoitteet

Lianjärven kunnostamisen tavoitteena on pitää yllä järven hyvää virkistyskäyttöarvoa. Sinileväkintojen ehkäiseminen sekä vesikasvillisuuden vähentäminen ovat järven kunnostamisen realistisia tavoitteita. Myös rehevöitymiskehityksen hidastaminen on tärkeää.

Kunnostamisen reunaehdot

Lianjärven alue kuuluu pääosin harjujen- ja rantojensuojeluohjelmaan eli on Natura 2000 aluetta. Lisäksi alue on maakunnallisesti merkittävä kulttuurihistoriallinen alue ja ensimmäisen luokan pohjavesialuetta. Lianjärvestä lähtevän Lianojan kosteikkorannoilla kasvaa uhanalaiseksi luokiteltua neivaimarretta (*Thelypteris palustris*), mutta itse järviolueella ei ole havaittu uhanalaisia tai suojeltavia kasvi- tai eläinlajeja. Alueen suojeluarvot perustuvat luontotyyppien suojeluun. Kunnostamisen reunaehtojen merkitystä eri kunnostamistoimiin on arvioitu liitteessä 5.

Teknitaloudellisesti sopivat menetelmät

Lianjärvelle soveltuvat kunnostusmenetelmät ovat ravintoketjukunnostus ja hapetus. Kunnostusmenetelmien soveltuvuuden arviointi on kokonaisuudessaan esitetty liitteessä 5.

Koekalastusta ei ole Lianjärvellä tehty, mutta voidaan olettaa, että kalastorakenne on vastaavan tyyppinen kuin Iso-Syväjärvessä. Järven ravintoketjukunnostuksen tarpeellisuutta ja mahdollista tuloksellisuutta on syytä arvioida kesäajan tarkentavien a-klorofylli ja kokonaisfosforinäyttein (kuva 32). Sinileväkukinnot ovat kuitenkin ongelma Lianjärvellä ja ravintoketjukunnostus on perusteltua rehevöitymiskehityksen hidastamiseksi. Tehokalastusjakson aikana järvestä tulisi poistaa särkikalvoja noin $1\,600\text{ kg a}^{-1}$ ja hoitokalastusjakson aikana noin 350 kg a^{-1} . Tehokalastusjakson kustannukset ovat noin $12\,000\text{ € a}^{-1}$ ja hoitokalastusjakson kustannukset jäänevät alle $1\,600\text{ € a}^{-1}$. Kustannuksia on mahdollista pienentää talkootyöllä, erityisesti hoitokalastusjakson aikana. Lisäksi osan kustannuksista voi kattaa pidättäytymällä kalaistutuksista ja kohdentamalla niihin ohjattua rahoitusta järven kunnostamiseen. Myöhemmin kalaistutuksissa kannattaa suosia petokalalajeja, jotka harventavat luontaisesti särkipopulaatiota. Ennen ravintoketjukunnostuksen aloittamista on järvelle raivattava apajapaikkoja, joiden raivaamiskustannuksiksi on arvioitu $2 - 4\,000\text{ €}$. Myöhemmin raivaustyö vesikasvien niiton osalta olisi uusittava tarvittaessa vuosittain.

Alusveden hapettomuuden estäminen hapetuksella parantaa järven tilaa huomattavasti. Järveä kiusaavat toistuvat sinileväkukinnot saataisiin pysymään kurissa pitämällä alusvesi hapellisena, jolloin järven pohjasta ei liukenisi ravinteita veteen. Lianjärvellä riittää talvikauden hapetus, jolloin kustannukset ovat noin $3\,000\text{ € a}^{-1}$.

Asukaslähtöiset kunnostusmenetelmän valintaperusteet

Lianjärven rannalla on yhteensä 11 rantakiinteistöä, joissa yhtä käytetään ympärivuotisena asuntona. Lisäksi Lianjärven koillis- ja itärannalle on kaavoitettu Ahveroisenkankaan asemakaava-alue (kuva 31). Vähentämällä rantakiinteistöistä tulevaa kuormitusta voidaan järven rehevöitymiskehitystä osaltaan hidastaa. Tähän tulisi kaikkien rantakiinteistöjen omistajien sitoutua ja huolehtia jätevesien ja jätteiden käsittely kuntoon alueella

5.5.4. Tulijärvi ja Kotalampi

Kunnostamisen tarve ja tavoitteet

Tulijärven ja Kotalammen kunnostamisen tavoitteena on parantaa järvien virkistyskäyttöarvoa. Esimerkiksi käyttökelpoisuusluokan parantaminen voisi olla realistista. Järvien sinileväkukintoja ja ravinteiden vapautumista sedimentistä tulee vähentää. Alusveden happipitoisuutta on lisättävä sekä kesällä että talvella. Tulijärven lahtien vesikasvillisuutta on myös syytä poistaa, virkistyskäytön parantamiseksi.

Kunnostamisen reunaehdot

Tulijärven ja Kotalammen alue kuuluu lähes kokonaan harjujen- ja rantojensuojeluohjelmaan eli on Natura 2000 aluetta. Lisäksi alue on maakunnallisesti merkittävä kulttuurihistoriallinen alue ja ensimmäisen luokan pohjavesialuetta. Tulijärveen laskevan Lianojan kosteikkorannoilla kasvaa uhanalaiseksi luokiteltua neivaimarretta (*Thelypteris palustris*), mutta itse järviolueella ei ole havaittu uhanalaisia tai suojeltavia kasvi- tai eläinlajeja. Alueen suojeluarvot perustuvat luontotyyppien suojeluun. Kunnostamisen reunaehtojen merkitystä eri kunnostamistoimiin on arvioitu Tulijärven ja Kotalammen osalta liitteessä 6.

Teknistaloudellisesti sopivat menetelmät

Tulijärven kunnostamiseen soveltuvat menetelmät ovat hapetus, ravintoketjukurkennostus, vesikasvien niitto sekä mahdollisesti fosforin kemiallinen saostus ja pienten alueiden ruoppaaminen. Kunnostusmenetelmät soveltuvuusarvioineen on koottu liitteeseen 6. Kotalampeen soveltuvat menetelmät ovat hapetus, ravintoketjukurkennostus, fosforin kemiallinen saostus, vesikasvien niitto ja Kotasalmen ruoppaaminen (kuva 33B). Kotalampi, samoin kuin Leväsoppinenkin, voisi olla erinomainen pohjan kemikalointipöyhinnän koekohde. Kotalammen kunnostusmenetelmät soveltuvuusarvioineen on esitetty liitteessä 6.

Hapetusta tarvitaan Tulijärvessä ja Kotalammissa parantamaan alusveden happitilannetta ja vähentämään ravinnevirtaa sedimentistä veteen. Hapetuksen tulisi olla ympärivuotista, sillä alusvesi on hapetonta läpi vuoden. Tulijärveen ja Kotalampeen on laitettava vähintään kaksi hapetinta ja siksi kustannukset ovat järvellä on tarve jatkuvaan hapetukseen. Hapetuksen vuosittaiset kustannukset jäänevät alle 5 000 € a⁻¹.

Koekalastuksen mukaan Tulijärven kalastorakenne on vinoutunut, sillä särkikalaja koko kalakanasta on lähes 70 %. Koska tulijärvi ja Kotasalmi ovat suorassa yhteydessä toisiinsa on niiden kalasto todennäköisesti yhteneväinen. Ravintoketjukurkennostus on sekä Tulijärvellä että Kotalamella tarpeen sinilevähaittojen vähentämiseksi (kuva 32). Tehokalastusjakson aikana järvistä tulisi poistaa

särkikaloja noin 2 700 kg a⁻¹ ja hoitokalastusjakson aikana noin 550 kg a⁻¹. Tehokalastusjakson kustannukset jäävät alle 20 000 € a⁻¹ ja hoitokalastusjakson kustannukset ovat noin 2 700 € a⁻¹. Kustannuksia on mahdollista pienentää talkootyöllä, erityisesti hoitokalastusjakson aikana. Lisäksi osan kustannuksista voi kattaa pidättäytymällä kalaistutuksista ja kohdentamalla niihin ohjattua rahoitusta järven kunnostamiseen. Myöhemmin kalaistutuksissa kannattaa suosia petokalalajeja, jotka harventavat luontaisesti särkipopulaatiota.

Vesikasvien niittämistä tarvitaan ravintoketjukurkennostuksen apajapaikkojen lisäksi ojien suilla, lähissä ja Kotasalmessa, jotka ovat lähes umpeenkasvaneita (kuva 35). Niittokustannukset ovat vuositasolla 2 000 €, mutta niittotyön onnistuminen vaatii talkootyötä huolehtimaan niitettyjen kasvien nostamisesta järvestä.

Fosforin kemiallinen saostaminen järven vedestä on toteuttamiskelpoinen menetelmä, koska järven arvioitu viipymä on pitkä. Saostaminen ei todennäköisesti riitä kertaluonteisena vaan se on toistettava 3 - 5 vuoden välein. Kustannukset käytettäessä saostuskemikaalina alumiinikloridia ovat noin 15 000 €, josta kemikaalien osuus on 8 000 €. Saostuskemikaalia tarvittaisiin 9 000 - 13 000 kg, mutta lopullinen kemikaaliannostus tulisi määrittää astiakokein.



Kuva 35. Tulijärven Aittolahden vesikasvustot ovat levinneet laajalle alueella ja esimerkiksi veneily on erittäin vaikeaa. Valokuva Arja Männikkö 23.7.2004.

Laajoja ruoppauksia ei alueella voida tehdä suojelualueiden vuoksi. Kuitenkin umpeenkasvaneiden alueiden ja rantojen siistimisruoppaukset ovat mahdollisia. Rannalta ruoppauksen kustannukset ovat hehtaaria kohden 5 000 - 8 400 €. Kaikkiin paikkoihin ei kuitenkaan todennäköisesti pääse rannalta, jolloin ruoppauskustannukset nousevat. Kotasalmen ruoppaus on perusteltua esimerkiksi veneilyn ja vedenvaihtuvuuden parantamiseksi Kotasalmessa. Ruopattavaa pinta-alaa Kotasalmessa on noin 500 m².

Kotalampi ja Leväsoppinen soveltuvat pohjan pöyhintäkemikaloinnin koekohteiksi. Mikäli kumpikin kohde käsiteltäisiin samalla kertaa, voidaan pöyhintäkalustoa käyttää laajemmin ja kustannustehokkaammin. Kotalammen osuus kustannuksista olisi tasolla 6 000 - 8 000 €.

5.5.5. Kirvesjärvi

Kunnostamisen tarve ja tavoitteet

Kirvesjärven kunnostamisen tavoitteena on pitää yllä järven hyvää virkistyskäyttöarvoa. Sinileväkukintojen ehkäiseminen sekä vesikasvillisuuden vähentäminen ovat järven kunnostamisen realistisia tavoitteita. Myös rehevöitymiskehityksen hidastaminen on tärkeää.

Kunnostamisen reunaehdot

Kirvesjärven alue kuuluu kokonaan harjujen- ja rantojensuojeluohjelmaan eli on Natura 2000 aluetta. Lisäksi alue on maakunnallisesti merkittävä kulttuurihistoriallinen alue ja ensimmäisen luokan pohjavesialuetta. Kirvesjärven kosteikkorannoilla kasvaa uhanalaiseksi luokiteltua neivaimarretta (*Thelypteris palustris*). Muita uhanalaisia tai suojeltavia kasvi- tai eläinlajeja ei alueella ole havaittu. Alueen suojeluarvot perustuvat luontotyyppien suojeluun. Kunnostamisen reunaehtoien merkitystä eri kunnostamistoimiin on arvioitu liitteessä 7.

Teknistaloudellisesti sopivat menetelmät

Kirvesjärven kunnostamiseen hyvin soveltuva menetelmä on hapetus. Myös ravintoketjukurkennostus ja veden fosforin kemiallinen saostus ovat mahdollisia. Kirvesjärven kunnostusmenetelmät soveltuvuusarvioineen ovat liitteessä 7.

Kirvesjärven syvänteen hapetus on alusveden ajoittaisen hapettomuuden vuoksi tarpeellista ja kustannukset jäänevät alle 3 000 € a⁻¹.

Kirvesjärven kalakantaa ei ole kartoitettu, mutta se lieenee Iso-Syväjärven kalakannan tyyppinen. Ravintoketjukurkennostus on järvellä tarpeen sinilevähaittojen vähentämiseksi (kuva 32). Tehokalastusjakson aikana järvistä tulisi poistaa särkikaloja noin 1 300 kg a⁻¹ ja hoitokalastusjakson aikana noin 260 kg a⁻¹. Tehokalastusjakson kustannukset jäävät alle 10 000 € a⁻¹ ja hoitokalastusjakson kustannukset ovat 1 300 € a⁻¹. Kustannuksia on mahdollista pienentää talkootyöllä, erityisesti hoito-

kalastusjakson aikana. Lisäksi osan kustannuksista voi kattaa pidättäytymällä kalaistutuksista ja kohdentamalla niihin ohjattua rahoitusta järven kunnostamiseen. Myöhemmin kalaistutuksissa kannattaa suosia petokalalajeja, jotka harventavat luontaisesti särkipopulaatiota.

Veden fosforin kemiallisesta saostamisesta voi olla järvelle hyötyä, mikäli viimeisimmissä vedenlaatu havaintojen mukaiset veden fosforipitoisuudet on jatkossakin korkealla tasolla. Muutaman havainnon antaman tiedon vuoksi järven kemikalointi on kuitenkin nykyisellään liian massiivinen toimenpide laskettuihin lähes 20 000 € kustannuksiin nähden.

5.5.6. Kunnostustoimien yhdistäminen eri järvillä.

Järvien sijainti ketjussa on tärkeää ottaa huomioon kunnostustoimenpiteitä tehtäessä, jotta saataisiin aikaan mahdollisimman tehokas lopputulos, ja kustannustaso jäisi mahdollisimman alhaiseksi. Kunnostaminen on syytä aloittaa järvien apajapaikkojen raivauksella ja ravintoketjukunnostamisella. Kunnostus tulee tehdä ketjutettuna eli aloitetaan toimenpiteillä Leväsoppisessa, sitten Iso-Syväjärvestä, Lianjärvestä, Tulijärvestä, Kotalammassa ja edelleen Kirvesjärvestä. Virtaavan veden mukanaan tuomat ravinteet eivät pääse kuormittamaan alapuolista kunnostettavaa vesistöä, kun kunnostaminen aloitetaan järviketjun alkupäästä. Laitteiden kuljetus-, huolto- ja ylläpitokustannuksissa säästetään toteutettaessa kukin kunnostusmenetelmä ketjuttamalla. Kustannukset ovat yleensä pienillä järvillä korkeammat alaa kohden, mutta ketjuttaminen madaltaa niiden kustannuksia.

Järvien hoitokalastaminen on laajuudessaan noin 2 henkilötyövuoden työ vuodessa. Ravintoketjukunnostamiselle olisi löydettävä riittävä rahoitus, jotta teho- ja hoitokalastus voidaan tehdä kaikilla järvillä ketjutettuna. Hoitokalastuksen järjestämiseksi voisivat järvien loma-asukkaat muodostaa yhteisön ja palkata esimerkiksi pitkäaikaistyöttömiä työllisyystöihin kalastamaan särkiä.

6. Yhteenveto ja johtopäätökset

6.1 Yhteenveto

Rehevän järven ongelmana ovat usein nopea umpeenkasvu ja liettyminen, happikadot, kalakuolemat sekä kalaston vinoutuminen särkivaltaiseksi. Lisäksi sedimentin fosforinpidätyskyky alenee ja löyhä sedimentti sekoittuu veteen kaasunmuodostuksen tai tuulen sekoittamana. Järven rehevöitymisen kruunaavat sinileväkukinnot. Nämä ongelmat heikentävät järven virkistyskäyttöarvoa. Ongelmien taustalla on järveen kohdistuva tai myös aiemmin kohdistunut liiallinen ulkoinen kuormitus. Valuma-alueelta luontaisesti ja ihmistoiminnan kiihdyttämänä järveen tuleva ravinne- ja kiintoainekuormitus ei saisi ylittää järven kuormituksensietokykyä. Kun kriittinen kuormitus ylitetään, niin lopputuloksena on kiihtyvä rehevöitymiskehitys. Rehevöitymistä kiihdyttää edelleen järven sisäinen kuormitus. Sisäinen kuormitus tarkoittaa ravinteiden vapautumista järven sedimentistä. Pohjasedimentissä tapahtuvat diffuusio, konvektiovirtaukset, resuspensio sekä bioturbaatio ovat keskeisiä sisäisen kuormituksen vapautumismekanismeja.

Rehevän järven kunnostaminen on useita vuosia kestävä hanke. Toimitaanhan siinä järven luontaisen, umpeenkasvuun tähtäävän, kehityksen vastaisesti. Järven ongelmia voidaan vähentää jatkuvien ja yhtäjaksoisten toimenpitein. Rehevöitymisen perussyytä eli järven liiallista ulkoista ja sisäistä kuormitusta tulee vähentää, mikäli halutaan vähentää järven rehevöitymisestä johtuvia ongelmia. Kunnostushankkeissa kannattaa edetä pienin askelin, ensin vähentää ja poistaa virkistyskäyttöä haittaavia tekijöitä ja sen jälkeen vasta poistaa ongelman perussyy.

Kunnostushankkeen käynnistämisessä tärkeää on realististen tavoitteiden asettaminen. Oikein valittu kunnostusmenetelmällä saavutetaan asetetut tavoitteet ja se sopii kohteeseen. Oikea ja järvelle sopiva menetelmä löydetään, kun arvioidaan eri menetelmät perustuen järven tilaselvityksiin ja kuormitustietoihin sekä keskustellaan niistä yleisötilaisuudessa. Kunnostusmenetelmä tulee arvioida teknisten, taloudellisten sekä vaadittavan ylläpidon kannalta. Lisäksi asukaslähtöiset valintaperusteet sekä reunaehtoina nähtävät luoto- ja ekologiset arvot ovat arviointiperusteita, jotka rajaavat käytettävissä olevien menetelmien joukkoa. Kunnostusmenetelmän valinta onkin nk. poissulkeva valintamenettely. Asiantuntija- ja asukasarvioinnin jälkeen kunnostushanketta ja -suunnittelua voidaan jatkaa tarkentavilla hanke- ja työsuunnitelmillä.

Tapaustutkimus Rokuan alueen rehevöityneiden järvien kunnostamismahdollisuuksista

Rokuan harjualueen lukuisten pienten järvien joukossa on rehevöitynyt järviketju, jonka rehevöitymiskehitykselle etsitään selitystä. Järvet ovat pääasiassa sisäkuormitteisia, eikä niille ole löydetty

merkittävää ulkoista kuormittajaa. Alueen loma-asukkaat ovat esittäneet huolensa järvien nykykehityksestä. Näistä lähtökohdista aloitettiin Rokuan rehevien järvien kunnostamisen yleissuunnitelman laatiminen.

Rehevimpiä, lähes ylireheviä järviä ovat Leväsoppinen ja Kotalampi. Tulijärvi on rehevä, Iso-Syväjärvi, Lianjärvi ja Kirvesjärvi ovat lievästi rehevöityneitä. Järvet ovat yhteydessä alueen pohjaveteen ja siksi niiden veden viipymää on ollut vaikea määrittää. On arvioitu, että viipymä on järvisä yli vuoden, kuitenkin Leväsoppisen viipymä on arvioitu 6 kuukaudeksi. Järvien syvänteiden pinta-alojen suhde järven kokonaispinta-alaan Iso-Syväjärvessä on 28 %, Lianjärvessä 2 %, Tulijärvessä 8 % ja Kirvesjärvessä 38 %. Leväsoppisessa ja Kotalammessa ei ole lainkaan syvänteitä, sillä ne ovat alueen järvistä matalimpia.

Kaikkien kunnostussuunnitelmaan kuuluvien järvien, Leväsoppisen, Iso-Syväjärven, Lianjärven, Tulijärven, Kotalammen ja Kirvesjärven, kunnostamiseen soveltuvat hapetus ja ravintoketjukurkennostus. Järvien alusvettä vaivaa hapettomuus ja kalasto koekalastetuissa järvissä on särkivaltaista. Vesikasvien niittoa tarvitaan useimmilla järvillä. Rungas vesikasvillisuus häiritsee virkistyskäyttöä ja ravintoketjukurkennostuksen apajapaikat on raivattava liasta vesikasvillisuudesta ja rantavessä olevista puista. Ainoastaan Lianjärvessä ja Kirvesjärvessä ei ole havaittu vesikasvillisuuden runsastumista. Leväsoppisessa, Tulijärvessä, Kotalammessa ja Kirvesjärvessä fosforin kemiallinen saostus voi tietyin edellytyksin olla toimiva menetelmä. Pienet ruoppaukset ovat aiheellisia rantojen siistimiseksi ja umpeenkasvaneiden vesialueiden palauttamiseksi Tulijärvellä ja Kotalammessa, erityisesti Kotasalmessa.

Järven tilapäinen kuivattaminen ei suunnitelmaan kuuluville järville sovellu, koska järvet ovat pääsääntöisesti syviä ja yhteydessä pohjaveteen. Sedimentin stabiloiminen pohjaa pöyhimällä, kipsaamalla tai savipeitolla ei ole useimmissa järvissä tarpeen. Suunnitelman rehevimmät järvet, Leväsoppinen ja Kotalampi, voisivat olla sopivia pohjan kemikaalipöyhinnän koekohteiksi sillä järven tila ei juuri huonompi voisi olla. Soveltumattomia kunnostusmenetelmiä jokaiselle järvelle ovat alusveden poisjohtaminen ja vedenpinnan nostaminen, alueen topografian vuoksi. Alusvettä ei myöskään voida johtaa pois, koska alapuoliseen vesistöön aiheutuisi kuormitusta eikä kosteikoillekaan ole sopivia paikkoja. Vedenpinnan nostamisesta on hyötyä ainoastaan hyvin matalissa järvissä.

Järvien kunnostus on aiheellista toteuttaa ketjuttamalla, lähtien järviketjun ensimmäisestä järvestä, Leväsoppisesta, alaspäin järjestyksessä järvi kerrallaan. Menetelmien toteutus ketjuttamalla säästää kustannuksia ja takaa parhaan mahdollisen lopputuloksen.

6.2. Johtopäätökset

Matalien ja rehevien järvien luontainen kehitys kulkee vääjäämättä kohti umpeenkasvua. Ihmisen toimista aiheutuva kuormitus kiihdyttää rehevöitymistä. Rehevöitymisestä johtuvat ongelmat, kuten sinileväkukinnat ja runsaat vesikasvustot lisääntyvät rehevöitymisen myötä. Kehitystä voidaan kunnostustoimin viivyttää ja parhaissa tapauksissa suuntaa kääntää. Mutta tulisiko aina kunnostustoimin tavoitella järven luonnontilaa, ennen ihmistoiminnan vaikutusta? Suomessa on valuma-alueen maaperästä johtuen järviä, jotka ovat luontaisesti reheviä. Pääsääntöisesti luontaisesti rehevistä järvistä voidaan kunnostustoimin vähentää virkistyskäyttöä haittaavia ongelmia, mutta rehevöitymisen aiheuttajaa ei yleensä voida poistaa. Tämä ajattelutapa soveltuu myös ihmisen toimien seurauksena rehevöityneisiin järviin. Rehevöitymiskehitys on niissä usein jo niin pitkällä, ettei järveä voida kohtuullisin resurssein palauttaa luonnontilaan. Kuitenkin ihmisen aiheuttamaa kuormitusta järviin tulee vähentää parhain käytettävissä olevin menetelmin. Rehevässä, sisäisesti kuormittuneessa järvesä nämä toimet yleensä ovat pohjasedimenttiin kohdistuvia kunnostustoimia.

Järveen kohdistuvan ulkoisen kuormituksen vähentäminen on kunnostustoiminnan lähtökohta. Ihmisen toimista aiheutuvaa kuormitusta tulisi aina vähentää parhaan käytettävissä olevan tiedon mukaan, sillä muutoin syyllistytään tulevaisuusimperialismiin. Jälkikäteen arvioituna esimerkiksi 1960- ja -70 lukujen metsäojitukset olivat monen järven kohdalla tulevaisuusimperialismia. Siksi nykyisiin metsien kunnostusojituksiin, kuten muihinkin merkittäviin maankäyttömuutoksiin, tulisi suhtautua kriittisesti kunnostettavien järvien valuma-alueella.

Rehevien järvien kunnostamisessa keskeistä on sisäisen kuormituksen hallinta. Tämä on kuitenkin käytännössä mahdotonta, ellei järven ja erityisesti pohjasedimentin tilasta ole riittävästi tietoa. Mutta miten tätä tietoa kerätään? Pohjasedimenttitutkimukset ovat laaja tutkimusalue, jossa uuden käytäntöön sovellettavan tiedon tuottaminen on työlästä ja vaikeaa. Tässä työssä on esitetty kokonaisnäkemyks sisäisen kuormituksen vapautumisesta Ranuanjärvellä. Osa sisäisen kuormituksen mekanismeista on etsitty suuruusluokkatietoja kirjallisuuden perusteella. Diffuusion, kaasukonvektion, resuspension ja lämpötilakonvektion määrittämiseen on kehitetty mittaus- ja laskentamenetelmiä. Eri mekanismeissa on vielä paljon tutkittavaa, ennen kuin voidaan kehittää riittävän luotettavia laskentamenetelmiä sisäisen kuormituksen mekanismien hallintaan eri tyyppisille järville. Tähän tulisi kuitenkin pyrkiä, vaikka järvikunnostuksen tutkimus- ja kehitystoiminta on Suomessa keskittynyt lähes pääsääntöisesti yksittäisten kunnostusmenetelmien tutkimukseen.

Kehitetty rehevän järven kunnostusmenetelmän asukaslähtöinen valintamenettely sopii keskisuuriin ja suuriin kunnostushankkeisiin. Pieniin hankkeisiin menettely on liian raskas. Menettely on suunnittelijan työkalu, jolla ohjataan kunnostuskohteen hallintaa ja sopivan menetelmien valintaa. Samalla myös järven luonto- ja ekologiset arvot tulevat huomioiduksi. Kunnostettava järvi tulee arvioida sen tilan ja ominaispiirteiden mukaan eli kohdekohtaisesti. Suomessa on vallalla menetelmäkohtainen valinta, jossa kunnostuskohde valitaan käytettävän menetelmän mukaan. Tämä menettely on lähinnä kunnostuskohteen valintaa, mutta kohteen ja menetelmän valinta tulisi kuitenkin pitää erillään. Näin varmistetaan kunnostusaloitteiden tasavertainen kohtelu esimerkiksi valtion hankerahoituksen myöntämisessä.

Järven tilan ja sen kehityksen tunteminen lisää kunnostuksen tavoitteiden realistisuutta, joten järven lähtötietojen keruuseen tulisi kiinnittää nykyistä enemmän huomiota. Samalla luodaan tietoperusta kunnostuksen tuloksellisuuden arvioimiseksi, mikä tulisi liittää osaksi kaikkia suuria ja keskisuuria kunnostushankkeita. Kunnostuksen tuloksellisuuden arviointi nostaa hankkeiden laatua ja uskottavuutta, sillä vain kohteeseen teknisesti ja taloudellisesti sopivilla menetelmillä voidaan kunnostushankkeen tavoitteet saavuttaa. Kehitetty kunnostusmenetelmän valintamenettely lisää myös asukkaiden vaikutusmahdollisuuksia jo kunnostushankkeen suunnitteluvaiheessa. Asukaslähtöisyys lisää kunnostushankkeen uskottavuutta ja laatua. Kehitetty kunnostusmenetelmän valintamenettely ja järven lähtötietojen käsittely tulisi jatkossa tehdä WWW-pohjaisessa ympäristössä, jolloin asukkaiden osallistumista voidaan edelleen lisätä.

Suomalaiset ovat kesämökkikansaa, mutta tulisiko "joka niemeen, notkoon, saarelmaan" silti rakentaa. Lomarakentamisen yhteydessä ei ole käyty keskustelua järvien tilasta ja niiden kehitysnäkymistä. Esimerkiksi Rokualla on kaavoitettu ja rakennettu loma-asutusta rehevöityneiden ja monista ongelmista kärsivien järvien ja lampien rannoille. Järven tila ja rehevöitymiskehitys voisi jatkossa olla lomarakentamisen kaavoituksessa ja poikkeuslupapäätösten lähtökohtana. Tällöin tulevat lomaasukkaat tietäisivät jo ennen rakentamispäätöstä mökkijärven mahdollisista sinilevähaitoista tai muista virkistyskäyttöä rajoittavista tekijöistä.

Lähdeluettelo

- Ahvonen, A., Jutila, E., Järvenpää, T., Lappalainen, A., Rask, M. & Vuorinen, P. 1992. Metsätalouden vaikutukset kaloihin, rapuihin ja kalatalouteen – kirjallisuusselvitys. Kalatutkimuksia 45/1992. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos. Helsinki. 69 s.
- Airaksinen, J. 2003. Suunnitteluohjeistus rehevien järvien kunnostamiseen. Oulun yliopisto. Prosessi- ja ympäristötekniikan osasto. Diplomityö. Oulu
- Allan, R. J. & Williams, J. D. H. 1978. Trophic status related to sediment chemistry of Canadian Prairie lakes. *J. Environ. Qual.* 7:99-106.
- Andersen, J. M. 1982. Effect of nitrate concentration in lake water on phosphate release from the sediment. *Water Res.* 16:7:1119-1126.
- Berner, R.A. 1980. Early diagenesis, a theoretical approach. Princeton University Press, Princeton
- Bilaletdin, Ä., Koskinen, K. ja Frisk, T. 1991. Statistical assessment of different contributions to nutrient loading from a drainage basin. *Aqua Fennica* 21:117-127.
- Boers, P.C.M. & Hese, O. 1988. Phosphorus release from the peaty sediments of the Loosdrecht Lakes (the Netherlands). *Wat. Res.* 22: 355-363.
- Boström, B., Jansson, M. & Forsberg, C. 1982. Phosphorus release from lake sediments. *Arch. Hydrobiol. Beih. Ergebn. Limnol.* 18:5-59.
- Chanton, J. P. & Whiting, G. J. 1995. Trace gas exchange in freshwater and costal marine environments: ebullition and transport by plants. In: Mattson, P. A. & Harris, R. C (eds.) *Biogenic trace gases: measuring emissions from soil and water*. Oxford: Blackwell Science, 1995:98-125.
- Eloranta, P. 1997. Limnologian perusteet. Helsinki: Helsingin yliopisto. Limnologian ja ympäristönsuojelun laitos. Moniste.
- Eloranta, P. 2005. Järvien kunnostuksen limnologiset perusteet. Julkaisussa: Ulvi, T. ja Lakso, E. (toim.). *Järvien kunnostus*. Suomen ympäristökeskus. Ympäristöopas 114. 336 s.
- EU, 2000. EU:n vesipolitiikan puitedirektiivi 2000/60/EY.
- Forsberg, C. & Ryding, S-O. 1980. Eutrophication parameters and trophic state indices in 30 Swedish waste-receiving lakes. *Arch. Hydrobiol.* Vol. 89:189-207.
- Francko, D.A. & Heath, R.T. 1979. Functionally distinct classes of complex phosphorus compounds in lake water. *Limnol. Oceanogr.* 24:463-473.
- Gould D. J. & Fletcher, M. R. 1978. Gull droppings and their effects on water quality. *Water Research* 12: 665 - 672.
- Gächter, R. & Meyer, J. S. 1993. The role of microorganisms in mobilization and fixation of phosphorus in sediments. *Hydrobiologia* 253: 103-121.

- Halmeenpää, H., Paananen, P., Vähänen, K. & Väisänen, T. 2005. Saunajärven ja Siikalammen kunnostaminen – yhteenveto REHKU-hankkeen koekohteista. Käsikirjoitus.
- Halonen, A. & Heikkinen, K. 1997. Siuruanjoki kuntoon yhteistyöhanke, kuormitus selvitys ja toimintaohjelma. 45 s. +liitteet. Pohjois-Pohjanmaan ympäristökeskus, Oulu. Julkaisematon.
- Hansen, K. 1961. Lake types and lake sediments. Verh. Int. Ver. Limnol. 14: 285-290
- Heinonen, P. 1980. Quality and composition of phytoplankton in Finnish inland waters. Vesihallitus. Vesientutkimuslaitoksen julkaisuja 37. 91 s.
- Hellsten, S. 1997. Sedimentin fosforivaroista. VTT muistio. 6.11.1997. julkaisematon
- Hellsten, S., Väisänen, T. & Capenberg, Th.E. 1994. Working report of exchange training program of S. Hellsten and T. Väisänen in the Netherlands Institute of Ecology (NIE/CL); Methods for lake sediment research. Nieuwersluis, The Netherlands. unpublished report. 72 p.
- Hellsten, S. & Väisänen, T. 1998. Studies of the Physico-Chemical Conditions of the Sediment-Water Interface in Lokka and Porttipahta Reservoirs. Internat. Rev. Hydrobiol. 83(1998): 215-218. Special issue on Reservoir Limnology.
- Helminen, H., Mäkinen, A. ja Horppila, J. 1995. Järven ympäristöekologia. Turun yliopiston täydennyskoulutuskeskuksen julkaisuja A:36. Pentti Perttula (toim.).1995. Turku.
- Hiljanen, R. & Hynninen, P. 1993. Vesistökuormitusta aiheuttavista metsätaloustoimenpiteistä eräiden Rokuan järvien valuma-alueilla. 5 s. +liitteet. Oulun vesi- ja ympäristöpiiri, Oulu. julkaisematon.
- Horppila, J., Malinen, T., Peltonen, H. & Ruuhijärvi, J. 1995. Kalastotutkimukset. Julkaisussa: Sammalkorpi, I., Keto, J., Kairesalo, T., Luokkanen, E., Mäkelä, M., Vääriskoski, J. & Lammi, E. (toim.). Vesijärvi projekti 1987-1994 – Ravintoketjukurinnot, tutkimukset ja toimenpiteiden seuraukset. Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja A 218. Vesi- ja ympäristöhallitus, Helsingin vesi- ja ympäristöpiiri, Lahden kaupunki, Helsingin yliopisto, Lahden tutkimus- ja koulutuskeskus. Helsinki 1995.
- Huttula, T. 1994. Suspended sediment transport in Lake Pyhäjärvi. Aqua Fennica 24,2: 171-185.
- Huttunen, J.T., Väisänen, T.S., Martikainen, P.J. & Lappalainen, K.M. 1997. Pohjasedimentin pöyhinnän vaikutukset metaanin syntyyn, kulutukseen ja päästön ylärajoissa järvissä. Tutkimusraportti 1. 1997. Kuopion yliopisto, ympäristötieteiden laitos. VTT Yhdyskuntateknikka. Kansanterveyslaitos. Vesi-Eko Oy. Moniste 45 s. + liitteet.
- Huttunen, J. T., Väisänen, T. S., Hellsten, S., Heikkinen, M., Nykänen, H., Junger, H., Niskanen, A., Virtanen, M. O., Lindqvist, O. V., Nenonen, O. S. & Martikainen, P. J. 2002. Fluxes of CH₄, CO₂ and N₂O in hydroelectric reservoirs Lokka and Porttipahta in the northern boreal zone in Finland. Global Biogeochemical Cycles, Vol. 16, NO.1,10.1029/2000GB001316,2002
- Huttunen, J. T., Lappalainen, K. M., Saarijärvi, E., Väisänen, T. & Martikainen, P. J. 2001. A novel sediment gas sampler and a subsurface gas collector used for measurement of the ebullition on methane and carbon dioxide from eutrophied lake. The Science of the total Environment 266 (2001): 153-158.

- Huttunen, J. T., Väisänen, T. S., Hellsten, S. K. & Martikainen, P.J. 2005. Methane fluxes to the sediment-water interface in some boreal lakes and reservoirs. Manuscript.
- Hyvärinen, V. & Korhonen, J. 2003. Hydrologian vuosikirja 1996 – 2000. Suomen ympäristö - Luonto ja Luonnonvarat 599. Suomen ympäristökeskus. Helsinki. 219 s.
- Håkanson, L. 1981. Sjösedimenten i recipientkontrollen; principer, processer och praktiska exempel. Natl. Swed. Environ. Prot. Board, SNV PM 1398, Uppsala, 242 p.
- Håkanson, L. & Ahl, T. 1976. Vättern - recenta sediment och sedimentkemi. Natl. Swed. Environ. Prot. Board, SNV PM 740 Uppsala, 164 p.
- Håkanson, L. & Jansson, M. 1983. Principles of lake sedimentology. Springer, Berlin. 316 p.
- Håkanson, L. & Peters R. H. 1995. Predictive Limnology. SPB Academic Publishing, Amsterdam, 464 p.
- Jacobsen, O. S. 1978. Sorption, adsorption and chemosorption of phosphate by Danish lake sediments. *Vatten* 34:230-243.
- Jones, J. G. & Simon, B. M. 1980. Decomposition processes in the profundal region of Blelham Tarn and the Lund tubes. *J. Ecol.* 68:493-512.
- Jones, J. G. & Simon, B. M. 1981. Differences in microbial decomposition processes in profundal and littoral lake sediments, with particular reference to the nitrogen cycle. *J. Gen. Microbiol.* 123:297-312.
- Juntura, E. 1994. Perämeren resuspensiomalli. Pro-Gradu tutkielma. Oulun yliopisto. Biofysiikan laitos.
- Juntura, E., Aarnio, E., Kerätär, K., Nenonen, O., Väisänen, T., Savolainen, M., Hellsten, S., Virtanen, M., Koponen, J., Inkala, A. & Ylinen, H. 1997. Jatkuvatoiminen mittausjärjestelmä veden laadun ja ainetaseiden seurantaan. VTT Tiedotteita 1848. Valtion teknillinen tutkimuskeskus. Espoo. 1997.
- Järnefelt, H. 1952. Plankton als indikator der Trophiegruppen der Seen. *Ann. Acad. Scient. Fenn. A* IV (18): 1-29.
- Kantola, L., Koskenniemi, E., Paavola, R. & Heikkinen, M. 2001. Ohjeita järvien ja jokien pohja-eläimistöseurannan näytteenottoon ja raportointiin. Ympäristöopas 87. Pohjois-Pohjanmaan ympäristökeskus. Oulu. 35 s.
- Kauppila, T. 2005. Paleolimnologiset sedimenttitutkimukset kunnostuksen tavoitteiden määrittelyssä. Julkaisussa: Ulvi, T. ja Lakso, E. (toim.). Järvien kunnostus. Suomen ympäristökeskus. Ympäristöopas 114. 336 s.
- Kauppinen, E. 2005. Rokuanjärven rehevöitymishistoria – vertailu karun Salmisen järven kehityshistoriaan. Pro-Gradu tutkielman luonnos (03/2005). Turun yliopisto, geologian laitos.
- Kenttämies, K. & Vilhunen, O. 1999. Metsätalouden fosfori- ja typpikuormitus vesistöihin vuosina 1977 – 1996 ja arvio kuormituksen kehittymisestä vuoteen 2005 erityisesti Oulujoen vesistöalueella. Julkaisussa: Ahti, E., Granlund, H. & Puranen, E. (toim.) Metsätalouden ympäristökuormitus. Seminaari Nurmeksessa 23.-24.9.1998. Tutkimusohjelman väliraportti. Metsähallituksen tiedonantoja 745: 115-126.

- Kettunen, J. 1980. Ravinteiden kierto matalassa eutrofisessa järvessä - sovellutuskohteena Vihdin Enäjärvi. Teknillinen korkeakoulu, Vesitekniikan laitos, julkaisu n:o 20. 155 s.
- Kettunen, J. & Stenmark, M. 1982. Wind induced resuspension and phosphorus exchange between resuspended sediment and lake water. In: BERGSTRÖM, I., KETTUNEN, J. & STENMARK, M. (toim.) 1982. Proceedings of the 10th Nordic Symposium on Sediments. Physical, chemical and biological dynamics in sediment. Teknillisen korkeakoulun vesitekniikan laitoksen julkaisu 26:11-2
- Kilpinen, K. 1988. Kalavesien hoito-opas kalastuskuntia varten. Kalatalouden keskusliiton julkaisu- ja 88. 149 s.
- Kimmel, B. 1990. Ecological concepts. Julkaisussa Olem, Harvey & Gretchen (ed.) Lake and Reservoir Restoration Guidance Manual. North American Lake Management society. United States Environmental Protection Agency, Washington D.C. 2. edition. 326 p.
- Koli, L. 1984. Kalat ja ympäristö. Julkaisussa: Kangasniemi, K. (toim.). Suomen eläimet 3:22-31.
- Kortsalo, P. & Pakarinen, O. 2004. Rokuan rehevöityneiden järvien kunnostushalukkuus. Ympäristö ja yhteiskunta kurssin (791301A) harjoitustyö. Oulun yliopisto. Maantieteen laitos. 16 s. + 2 liitettä.
- Koski-Vähälä, J. & Hartikainen, H. 2001. Resuspended sediment as a source and sink for soluble phosphorus. Verhandlungen Internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie 27: 3141 – 3147.
- Koski-Vähälä, J. 2001. Role of resuspension and silicate in internal phosphorus loading. Academic dissertation in limnology. University of Helsinki, Faculty of Agriculture and Forestry. 18. june, 2001. Yliopistopaino, Helsinki. 245 p.
- Kuusela, H. 2002. Taivalkosken Siikalammen vesistötutkimus – järven tila kunnostussuunnitelun lähtökohtana. Pro-Gradu tutkielma. Oulun yliopisto. Maantieteen laitos 96 s + 15 liitettä..
- Kääriäinen, S. & Rajala, L. 2005. Vesikasvillisuuden poistaminen. Julkaisussa: Ulvi, T. ja Lakso, E. (toim.). Järvien kunnostus. Suomen ympäristökeskus. Ympäristöopas 114. 336 s.
- Lakso, E. 2005. Järven vedenpinnan nosto. Julkaisussa: Ulvi, T. ja Lakso, E. (toim.). Järvien kunnostus. Suomen ympäristökeskus. Ympäristöopas 114. 336 s.
- Lappalainen, K. M. & Lakso, E. 2005. Järvien hapetus. Julkaisussa: Ulvi, T. ja Lakso, E. (toim.). Järvien kunnostus. Suomen ympäristökeskus. Ympäristöopas 114. 336 s.
- Lappalainen, K. M. & Matinvesi, J. 1990. Järven fysikaalis-kemialliset prosessit ja ainetaseet. Julkaisussa: Ilmavirta, V. (toim.), Järvien kunnostuksen ja hoidon perusteet. Helsinki, Suomen Limnologinen yhdistys ry. s. 54-84.
- Lappalainen, K. M. 1982. Convection in bottom sediments and its role in material exchange between water and sediments. Hydrobiologia 86:105-108.
- Lappalainen, K. M. 1990a. Rehevöityminen seurausilmiöineen. Julkaisussa: Ilmavirta, V. (toim.), Järvien kunnostuksen ja hoidon perusteet. Helsinki, Suomen Limnologinen yhdistys ry. s. 108-133.

- Lappalainen, K. M. 1990b. Laimentaminen ja huuhtelevminen. Julkaisussa: Ilmavirta, V. (toim.), Järvien kunnostuksen ja hoidon perusteet. Helsinki, Suomen Limnologinen yhdistys ry. s. 296-303.
- Lean, D. R. S. 1973. Phosphorus dynamics in lake water. *Science* 179:678-680.
- Lehmikangas, M. 2005. Järven tilapäinen kuivattaminen. Julkaisussa: Ulvi, T. ja Lakso, E. (toim.). Järvien kunnostus. Suomen ympäristökeskus. Ympäristöopas 114. 336 s.
- Lehtoranta, V. 2005. Johdanto. Julkaisussa: Ulvi, T. ja Lakso, E. (toim.). Järvien kunnostus. Suomen ympäristökeskus. Ympäristöopas 114. 336 s.
- Liere, L. & Janse, J. H. 1992. Restoration and resilience to recovery of the Lake Loosdrecht ecosystem in relation to its phosphorus flow. *Hydrobiologia* 233: 95 – 104.
- Liikanen, A., Murtoniemi, T., Tanskanen, H., Väisänen, T. & Martikainen, P. 2002. Effects of temperature and oxygen availability on greenhouse gas and nutrient dynamics in sediment of a eutrophic mid-boreal lake. *Biogeochemistry* 59:269-286.2002.
- Liikanen, A., Puustinen, M., Koskiahho, J., Väisänen, T., Martikainen, P. & Hartikainen, H. 2004. Phosphorus Removal in a Wetland Constructed on Former Arable Land. *Journal of Environmental Quality*. 33:1124-1132 (2004). ASA, CSSA, SSSA. Madison, USA.
- Lijklema, L. 1993. Considerations in modelling the sediment-water exchange of phosphorus. Julkaisussa: Boers, P. C. M., Cappenberg, T. E. & van Raaphorst, W. (eds.) *Proceedings of the Third International Workshop on Phosphorus in Sediments*. *Hydrobiologia* 253:219-231. Kluwer Academic Publisher. Belgium.
- Martikainen, P.J., Väisänen, T., Heiskanen, M., Niskanen, A., Huttunen, J., Hänninen, P., Hellsten, S., Nykänen, H., Regina, K., Lappalainen, E., Lindqvist, O. & Nenonen, O. 1996. Pohjoisten tekojärvien merkitys kasvihuonekaasujen tuottajina. VTT Yhdyskuntatekniikka. Julkaisematon raportti 327. Oulu 29.3.1996/II. 59 s.
- Maa ja Vesi oy. 1987. Rokuan alueen vesihuollon yleissuunnitelma. julkaisematon.40 s. + 16 liitettä.
- Massa, I. 1998. Toinen ympäristötiede. Yliopistokustannus Caudeamus. Tampere. 286 s.
- Mattila 2005. Julkaisussa: Ulvi, T. ja Lakso, E. (toim.). Järvien kunnostus. Suomen ympäristökeskus. Ympäristöopas 114. 336 s.
- Mazumber, A. 1994. Phosphorus-chlorophyll relationships under contrasting herbivory and thermal stratification; predictions and patterns. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 51:390-400.
- Messer, J. J., Ihnat, J. M. & Wegner, D. L. 1984. Phosphorus release from the sediments of Flaming Gorge Reservoir, Wyoming, U.S.A. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 22.1457-1464.
- Mortimer, C. H. 1941. The exchange of dissolved substances between mud and water in lakes. I. *J. Ecol.* 29:280-329.
- Männikkö, A. 2004. Rokuan rehevien järvien kunnostamisen yleissuunnitelma. Oulun ammattikorkeakoulu – Tekniikan yksikkö. Insinöörityö. XX s.

- Mäkelä, A., Antikainen, S., Mäkinen, I., Kivinen, J. & Leppänen, T. 1992. Vesitutkimusten näytteenottomenetelmät. Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja - sarja B10. Vesi- ja ympäristöhallitus, Helsinki. 87 s.
- Ohle, W. 1964. Interstitiallösung der Sedimente, Nährstoffgehalt des Wassers und Primärproduktion des Phytoplanktons in Seen. Helgol. Wiss. Meeresunters. 10:411-429.
- Olin, M. & Ruuhijärvi, J. (toim.). 2002. Rehevöityneiden järvien hoitokalastuksen vaikutukset, Vuosiraportti 2001. Kala- ja riistaraportteja 262. Riistan- ja kalantutkimuslaitos. Helsinki. 136 s.
- OECD, 1982. Eutrophication of waters, monitoring, assessment and control. Paris. 154 p. (ISBN 92-6412298-2)
- Oravainen 2005. Julkaisussa: Ulvi, T. ja Lakso, E. (toim.). Järvien kunnostus. Suomen ympäristökeskus. Ympäristöopas 114. 336 s.
- Paakki, S. 2004. Rokuan järvien kuormitusselvitys. Pohjois-Pohjanmaan ympäristökeskus. Luonnos 31.3.2004.
- Paananen, P. 2001. Siuruanjoki Kuntoon – Euroopan aluekehitysrahaston ja maakuntien yhteishanke. Case Study: Saunajärven kunnostaminen. Oulun yliopisto. Prosessi- ja ympäristötekniikan osasto. Diplomityö. 132 s. + 21 liitettä.
- Paasivirta, L. 1989. Pohjaeläintutkimuksen liittäminen järvisyvännealueiden seurantaan. Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja 164. Vesi- ja ympäristöhallitus. Helsinki 1989. 69 s.
- Pekkarinen, M. 2005. Savipeitto. Julkaisussa: Ulvi, T. ja Lakso, E. (toim.). Järvien kunnostus. Suomen ympäristökeskus. Ympäristöopas 114. 336 s.
- Pietiläinen, O-P. & Kauppi, L. 1993. Suomen sisävesistöjen typpi/fosforisuhteista – käyttökelpoista tietoa vesiensuojelun kannalta? Vesitalous 34:6, s.1-7.
- Piispanen, A. 1987. Pohjasedimentin ja vesimassan fosforinvaihto sekä pohjasedimentin hapenkulutus ja hapentarve. - Pro gradu-työ, Helsingin yliopiston limnologian laitos. 205 s.
- Premazzi, G. & Zanon, G. 1984. Availability of sediment P in Lake Lugano. Verh. Internat. Verein. Limnol. 22:1113-1118.
- Puro, A., Väisänen, T., Halonen, M., Juntura, E., Hätälä, E. ja Hiltunen, E. 1999. Ranuanjärven, Takajärven ja Luiminkajärven tila ja kunnostusmahdollisuudet. Lapin ympäristökeskus. Alueelliset ympäristöjulkaisut 88. 91 s.
- Rokuan luonto, 2004. [Http://www.luontoon.fi/](http://www.luontoon.fi/). Päivitetty 18.2.2004. Luettu 8.4.2004.
- Rotko, P. & Laitinen, L. 2004. Viestintä ja vuorovaikutus vesistöjen käytössä ja hoidossa. Suomen ympäristökeskus. Suomen ympäristö 674. 123 s.
- Rotko, P. & Lyytimäki, J. 2004. Viestintä vesistöjen kunnostuksessa. Innostaminen, uutisointi ja sosiaalinen pääoma. Suomen ympäristökeskus. Suomen ympäristö 717. 65 s.
- Ryding, S.-O. & Forsberg, C. 1977. Sediments as a nutrient source in shallow polluted lakes. Teoksessa: Golterman, H.L. (ed.) 1977. Interactions between sediments and fresh water. Dr W. Junk B.V. Publ. The Hague, Wageningen. s. 227-234.

- Saarijärvi, E. 2001. Vesistöjen tilan parantaminen – kunnostamalla vai jätevesiä puhdistamalla ?. *Envirotec Magazine* 2001. s.12-14.
- Saarijärvi, E., Lappalainen, M., Ronkainen, J. & Hartikainen, J. 2003. Vaalan Rokuanjärven fosforitaseet vuodelle 2002 sekä kunnostuksen pääpiirteet. *Vesi-Eko Oy, julkaisematon raportti*. 44 s. +liitteet.
- Saarijärvi, E. 2005. Pohjasedimentin pöyhintä. Julkaisussa: Ulvi, T. ja Lakso, E. (toim.). *Järvien kunnostus*. Suomen ympäristökeskus. *Ympäristöopas* 114. 336 s.
- Saarijärvi, E. & Lappalainen, K. M. 1999. Ravinnetaseiden käyttö vesistöjen tilan arvioinnissa – Osa 3. Taselaskelmat kunnostussuunnittelun pohjana. *Vesitalous* 40:3, 27-29.
- Saarijärvi, E. & Sammalkorpi, I. 2005. Kunnostustarpeen määrittäminen. Julkaisussa: Ulvi, T. ja Lakso, E. (toim.). *Järvien kunnostus*. Suomen ympäristökeskus. *Ympäristöopas* 114. 336 s.
- Salonen, K., Jones, R. L. & Arvola, I. 1984. Hypolimnetic phosphorus retrieval by diel vertical migrations of phytoplankton. *Freshwater Biol.* 14:431-438.
- Salonen, P. 1973. Rokuan alueen vesihuolto, vesiensuojelu ja virkistyskäyttö. Oulun yliopisto, Rakennusinsinööriosasto. *Diplomityö*. Oulu.
- Sammalkorpi, I. & Horppila, J. 2005. Ravintoketjukunnostus. Julkaisussa: Ulvi, T. ja Lakso, E. (toim.). *Järvien kunnostus*. Suomen ympäristökeskus. *Ympäristöopas* 114. 336 s.
- Sandman, O., Liikanen, P., Airaksinen, O., Hentinen, T. ja Lähteenmäki, R. 2004. Huolehdi kotijärvestä. Opas jokaiselle vastuulliselle vesi-ihmiselle. Etelä-Savon ympäristökeskus / Life Vuoksi-hanke. Kuopio.
- Sarvala, J. Helminen, H. & Kirkkala, T. 1997. Pyhäjärven vedenlaatu ja sitä säätelevät tekijät. *Vesitalous* 38 (3):15-20.
- Savola, E-M. ja Rautio L.M. 2003. Vesiensuojelua yhteistyöllä! Lappajärvi Life-projektin loppuraportti. Alueelliset ympäristöjulkaisut 300. Länsi-Suomen ympäristökeskus. Vaasa.
- Schindler, D. W., Hesslein, R. & Kipphut, G. 1977. Interactions between sediments and overlying waters in a experimentally eutrophied Precambrian Shield Lake. Teoksessa: Golterman, H.L. (toim.) 1977. *Interactions between sediments and fresh water*. Dr W. Junk B.V. Publ. The Hague, Wageningen. s. 235-243.
- Sinke, A. J. C., Cornelese, A. A., Keizer, P., Van Tongeren, O. F. R. & Cappenberg, Th. E. 1990. Mineralization, pore water chemistry and phosphorus release from peaty sediments in the eutrophic Loosdrecht lakes, The Netherlands. *Freshwater Biology* 23:587-599.
- Sommarlund, H., Pekkarinen, M., Kansanen, P., Vahtera, H. & Väisänen, T. 1998. Savipeittomennettelyn soveltuvuus Tuusulanjärven sedimentin kunnostuksessa. Suomen ympäristö/Ympäristönsuojelu 231. Uudenmaan ympäristökeskus. Helsinki.
- Stevenson, F. J. 1982. *Humus chemistry: genesis, composition, reactions*. Wiley-Interscience. New York. 443 s.

- Suoraniemi, M., Väisänen, T., Hellsten, S., Ihme, R. & Riihimäki, J. 1996. Kuusamon Soiviojärven nykytila, siihen vaikuttavat tekijät ja alustavia kunnostusmahdollisuuksia. VTT Yhdyskuntateknikka. Julkaisematon raportti 331. Oulu 30.4.1996.
- Söderman, T. 2003. Luontoselvitykset ja luontovaikutusten arviointi – kaavoituksessa, YVA-menettelyssä ja Natura-arvioinnissa. Suomen ympäristökeskus. Ympäristöopas 109. 155 s.
- Tanskanen, H., Liikanen, A. & Väisänen, T. 2000. Sisäkuormituksen arviointimenetelmien vertailu – esimerkkeinä Luupuvesi (Kiuruvesi) ja Kevätön (Siilinjärvi). Työraportti ympäristöministeriölle 31.7.2000. Pohjois-Savon ympäristökeskus. 32 s. Julkaisematon.
- Tanskanen, H. 2002. Pohjois-Savon lasketut järvet ja järvenlaskun vaikutusmekanismit. Suomen ympäristö 561. Pohjois-Savon ympäristökeskus. Kuopio 2002. 52 s.
- Tanskanen, H. 2005. Hankkeen seuranta. Julkaisussa: Ulvi, T. ja Lakso, E. (toim.). Järvien kunnostus. Suomen ympäristökeskus. Ympäristöopas 114. 336 s.
- Tattari, S. & Linjama, J. 2004. Vesistöalueen kuormituksen arviointi. Vesitalous 45 (3): 26 – 30.
- Tuomikoski, M. 1987. Rokuanvaara geologisena ja hydrogeologisena muodostumana. Pro-Gradu tutkielma. Oulun yliopisto, Geologian laitos. 73 s. +liitteet. Oulu.
- Turunen, A. & Äystö, V. 2000. Selvitys vesistöjen kunnostustarpeista. Suomen ympäristökeskuksen moniste 180. Suomen ympäristökeskus. 47 s.
- Ulvi, T. 2005. Alusveden poistaminen. Julkaisussa: Ulvi, T. ja Lakso, E. (toim.). Järvien kunnostus. Suomen ympäristökeskus. Ympäristöopas 114. 336 s.
- Vainio M. 2001. Luontotyyppien ja lajien huomioonottaminen kosteikkojen kunnostuksessa ja hoidossa. Valtakunnallisten kosteikkopäivien esitelmä 20. – 22.22.8.2001 . Oulu.
- Valtioneuvosto 2003, Valtioneuvoston asetus talousjätevesien käsittelystä vesihuoltolaitosten viemäriverkostojen ulkopuolisilla alueilla (Ympäristönsuojelulaki 18§). Suomen säädöskokoelma 524/2003.
- Varjo, E. & Salonen, V-P. 2005. Kipsaus. Julkaisussa: Ulvi, T. ja Lakso, E. (toim.). Järvien kunnostus. Suomen ympäristökeskus. Ympäristöopas 114. 336 s.
- Wetzel, R. G. 1983. Limnology. Second edition. Saunders College Publishing. 767 s.
- Westman, K. & Nylund, V. 1985. Rapu ja ravustus. Espoo. Weilin + GÖÖS. 173 s.
- Viinikkala, J., Mykkänen, E. & Ulvi, T. 2005. Ruoppaus. Julkaisussa: Ulvi, T. ja Lakso, E. (toim.). Järvien kunnostus. Suomen ympäristökeskus. Ympäristöopas 114. 336 s.
- Viitamäki, H. & Rouvinen, V. 2002. Rokuan järvien tila vuonna 2002. Alueelliset ympäristöjulkaisut 280, Pohjois-Pohjanmaan ympäristökeskus. Oulu.
- Viirret, M. 2000. Ison Vajusjärven kuormitus ja sen vähentämismahdollisuudet. Pohjois-Pohjanmaan ympäristökeskuksen moniste 14., Pohjois-Pohjanmaan ympäristökeskus, Oulu.

- Visuri, M., Väisänen, T. & Huttunen, J. T. 2003. Tuusulanjärven pohjasedimentin ja sen yläpuolisen vesifaasin kasvihuonekaasu- sekä happimittaukset elokuussa 2002. Suomen ympäristökeskus, Vesivarat / Vesi- ja ekotekniikka. Pohjois-Pohjanmaan ympäristökeskus. Kuopion yliopisto, ympäristöterveyden tutkimus- ja tuotekehitysyksikkö. Julkaisematon raportti 7.2.2003. Oulu. 12 s.
- Väisänen, T. & Hellsten, S. 1997. Pohjasedimentin hapenkulutuksen mittaus ja laskenta; Pohjanpitäjänlahti. VTT Yhdyskuntatekniikka, julkaisematon tutkimusselostus YKI652/97. Oulu 9.12.1997.
- Väisänen, T. & Kuusela, H. 2002. Järven kunnostusmenetelmän valinta. Vesitalous 43 (6): 42-46.
- Väisänen, V., Lakso, E., Visuri, M., Hellsten, S. & Väisänen, T.S. 2001. Metsätalous ja vesistöjen kunnostaminen – Taloudellinen arviointi järvikunnostuskustannusten perusteella. Alueelliset ympäristöjulkaisut 230. Pohjois-Pohjanmaan ympäristökeskus. Oulu.2001.
- Vääriskoski, J. & Ulvi, T. 2005. Kunnostushankkeen käynnistäminen ja toteutus. Julkaisussa: Ulvi, T. ja Lakso, E. (toim.). Järvien kunnostus. Suomen ympäristökeskus. Ympäristöopas 114. 336 s.
- Ympäristö 2000. Sisävesien rehevyys vuonna 1999 ja jaksolla 1985 – 1998. Ympäristö 2/2000.
- Ympäristöministeriö, 1998. Vesiensuojelun tavoitteet vuoteen 2005. Suomen ympäristö 226. 38 s.
- Ympäristöministeriö, 2004. Ehdotus vesipolitiikan puitedirektiivin täytäntöönpanoa koskevaksi lainsäädännöksi. VEPO-toimikunnan mietintö 14.4.2004. Ympäristöministeriön moniste 146. Ympäristöministeriö. 2005. 88s.
- Äystö, V. 1998. Talkoolaisten kokemuksia järviensä kunnostuksista – yhteenveto syksyllä 1997 laaditun talkookunnostuskyselyn vastauksista. Suomen ympäristökeskuksen moniste 128. Suomen ympäristökeskus. Helsinki. 45 s.

Liitteet

- Liite 1. Eri järvikunnostusmenetelmien teknistaloudelliset ja asukaslähtöiset valintaperusteet.
- Liite 2. Rokuan alueen pohjavedenkorkeuskäyrät, päävirtaussuunnat ja yksittäisten järvien pohjavedenmuodostumisalueet. (EI JULKAISTU PDF-MUODOSSA)
- Liite 3. Leväsoppisen kunnostusmenetelmävaihtoehtojen arviointi
- Liite 4. Iso-Syväjärven kunnostusmenetelmävaihtoehtojen arviointi
- Liite 5. Lianjärven kunnostusmenetelmävaihtoehtojen arviointi
- Liite 6. Tulijärven ja Kotalammen kunnostusmenetelmävaihtoehtojen arviointi
- Liite 7. Kirvesjärven kunnostusmenetelmävaihtoehtojen arviointi

Liitteissä 3-7 käytetyt merkinnät:

- A Kohteen luontoarvoihin liittyviä reunaehtoja
- B Kohteen hyvään ekologiseen tilaan liittyviä reunaehtoja
- C Menetelmän soveltuvuus hankkeen tavoitteisiin
- D Menetelmän tekninen toteutettavuus kohteessa
- E Menetelmän kustannukset suhteessa hankkeen rahoitusmahdollisuuksiin
- F Menetelmän ylläpitoon liittyvät näkökohdat
- G Asukaslähtöiset kunnostusmenetelmän valintaperusteet

Liitteissä 3-7 käytetyt arviointimerkinnät:

- L = Kohteesta ei ole riittävästi tietoa tai pyydettyä lausunto alueellisilta ympäristökeskuksetta.
- ? = Menetelmän sopivuudesta kohteeseen ei ole riittävästi tietoa, joko tausta- tai menetelmätietojen puutteellisuuden vuoksi
- = Menetelmä ei sovellu kohteeseen
- +/- = Menetelmän soveltuvuus kohteeseen on epävarma
- + = Menetelmä soveltuu melko hyvin kohteeseen
- ++ = Menetelmä soveltuu hyvin kohteeseen.

Liite 1. Eri järvikunnostusmenetelmien teknistaloudelliset ja asukaslähtöiset valintaperusteet**Hapetus**

Hapetuksen tarkoituksena on lisätä erityisesti järven alusveteen ja joissain tapauksissa myös sedimentin pintakerrokseen happea. Hapelliset olosuhteet alusvedessä ja pohjasedimentin pinnalla parantavat mm. fosforin sitoutumista sedimenttiin ja siten vähentävät osaltaan järven sisäistä kuormitusta (Lappalainen & Lakso 2005). Hapetuksella voi olla kunnostettavasta järvestä riippuen monia erilaisia tavoitteita. Ohessa tyypillisimpiä tavoitteita, kun hapetuksella pyritään vähentämään järven rehevyyttä (valintaperuste C).

- C.1. Järven happipitoisuuden kohottaminen siten, ettei happikatoja ja/tai kalakuolemia esiinny (++).
- C.2. Sisäisen kuormituksen vähentäminen (+).
Hapetuksen vaikutus perustuu fosforin kemialliseen sitoutumiseen hapellisissa olosuhteissa ja siten sisäisen kuormituksen vapautusmekanismeista diffuusion heikkenemiseen. Lisäksi hapetus lisää ja nopeuttaa orgaanisen aineksen hapellista hajotusta sedimentin pintakerroksessa vähentäen kaasukonvektio ja parantaen sedimentin kuormituskkestävyyttä.
- C.3. Vähentää sinileväkukintoja lisäämällä kasviplanktonlajiston välistä kilpailua (+).
- C.4. Jatkohoitomuoto muiden rehevyyden alentamiseen tähtäävien menetelmien yhteydessä (++).

Hapetuksen menetelmävalintaan liittyviä keskeisiä teknisiä (D) ja taloudellisia (E) sekä saavutetun tilan ylläpitoon (F) liittyviä mitoitus- ja valintaperusteita.

- D.5. Mitoituksen perustana on talvi- tai kesä kautena tarvittavan hapen vuorokautinen määrä, ettei järveen tule liian vähähappisia olosuhteita. Alustavan mitoituksen perusteella arvioidaan hapettimien määrä sekä hapen leviäminen koko järvioltaan alueelle. Erityisesti on huomioitava nk. katvealueet, eli erilliset syvänealueet hapen leviämistä arvioitaessa.
- D.6. Menetelmän käyttö ei vaadi yleensä ympäristölupaa
- E.7. Markkinoilla on useita hapetuslaitteiden toimittajia, joista osa antaa jopa nk. happitakuun eli hapetuksella saavutetaan tietty minimihappipitoisuus. Laitteen hankinnan vaihtoehtona on nykyisin myös vuokraus määräajaksi. Hapettimet toimivat sähköllä ja siten on varauduttava sähköliittymään ja energiamaksuihin. Hapetuksesta aiheutuu siis laitteen hankinta- tai vuokrakustannusten lisäksi myös vuotuisia käyttökustannuksia.

- E.8. Hapetuksen vuosikulut ovat normaalisti 40 - 200 € järven pinta-alahehtaaria kohden. Korkeimmat kustannukset pinta-alayksikköä kohden ovat pienissä ja rehevissä järvisä.
- F.9. Happitakuun merkitys korostuu useita vuosia kestävässä hapetuksissa.
- F.10. Hapetuslaitteet tarvitsevat säännöllisen huollon sekä lähes jatkuvan toimintatarkkailun, mahdollisten häiriöiden minimoimiseksi. Onko huolto ja toimintatarkkailu järjestettävissä ?

Ranta-asukkaiden ja tilaomistajien haastatteluissa sekä erilaisissa yleisötilaisuuksissa on syytä nostaa keskusteluun myös kohde- ja menetelmäkohtaisia nk. asukasperusteisia arviointiperusteita (G).

- G.11. Hapettimen säännöllinen ylläpito on tärkeää, sillä toimimaton hapetin kirvoittaa alueen asukkaissa keskustelun ”kalliista virheinvestoinnista”
- G.12. Talvella hapettimen lähialueella jäät ovat heikkoja ja siten jäällä liikkuminen vaikeutuu. Toisaalta hapettimen läheisyydessä pilkkiminen on varsin suositua, koska kalat tulevat mielellään mahdollisimman hapekkaaseen veteen.

Ravintoketjukurkennostus (Biomaniplulaatio)

Ravintoketjukurkennostus eli biomaniplulaatio tarkoittaa menetelmää, jossa vähennetään järven runsasta särkikalavaltaista kalastoa tehokalastuksella tai estetään järven tilan heikkeneminen hoitokalastuksella ja mahdollisesti petokaloja istuttamalla (Sammalkorpi & Horppila 2005). Ravintoketjukurkennostus on järven rehevyyttä ja rehevyydestä johtuvia ongelmia vähentävä kurkennostusmenetelmä (valintaperuste C).

- C.1. Sisäisen kuormituksen vähentäminen bioturbaatiota vähentämällä (+).
80 kg särkikaloja aiheuttaa järveen noin 4 g vuorokautisen fosforikuormituksen pöyhimällä pohjasedimenttiä (Lappalainen 1990). Kalamääräarvion ja ainetaselaskelman perusteella voidaan arvioida, onko bioturbaatio oleellinen mekanismi järven sisäisen kuormituksen vapautumisessa.
- C.2. Sinilevähaittojen vähentäminen (++).
Järven sinilevähaitat vähenevät kun kasviplanktonia laiduntavaan eläinplanktoniin kohdistuu aikaisempaa vähäisempi saalistuspaine. Särkikalojen pääravintoa on eläinplankton, silloin, kun sitä on riittävästi tarjolla.

Ravintoketjukurkennostus voidaan jakaa kahteen vaiheeseen. Tehokalastusjakson aikana järvestä poistetaan riittävästi särkikaloja, jotta saadaan aikaa tavoitellut vaikutukset. Kun tavoitteet on saavutettu voidaan siirtyä hoitokalastusjaksoon, jolloin saavutettu hyvä tila pyritään vakiinnuttamaan. Ensimmäinen vaihe kestää yleensä 2-3 vuotta ja toinen 5-10 vuotta. Ravintoketjukurkennostuksen suunnitte-

luun ja mitoitukseen liittyy teknisiä (D) ja taloudellisia (E) valintaperusteita. Lisäksi on otettava huomioon saavutetun tilan ylläpito (F). Myös asukaslähtöisiä (G) valintaperusteita on myös esitetty.

- D.3. Tehokalastusjakson (2-3 vuotta) tavoitesaalis on järven kalastosta riippuen yleensä 100 - 150 kg ha⁻¹ ja hoitokalastusjakson (5 - 10 vuotta) vastaavasti 20 - 50 kg ha⁻¹. Järvi-kohtainen kalakanta-arvio voi perustua kalastajatiedusteluihin, koekalastuksiin Nordic-Norm verkoilla tai koenuottauksiin.
- D.4. Työ voidaan tehdä talkootyönä, mutta ravintoverkkokunnostus vaatii pitkäjänteistä työtä. Viime aikoina on yleistynyt työnjako, jossa tehokalastuksen tekevät ammattikalastajat ja hoitokalastuksen esimerkiksi osakaskunnan talkooväki. Tehokalastukseen sopivia pyyntivälineitä ja tehokalastuspalveluita on saatavilla lähes koko Suomessa.
- D.5. Hoitokalastusta voidaan tukea petokalaistutuksin.
- D.6. Teho- ja hoitokalastuksen saaliille on suunniteltava jatkokäyttöä. Kalaa voidaan mm. käyttää turkiseläinten rehuna tai kompostoida lannoitteeksi muuhun kuin elintarviketuotannon käyttöön.
- D.7. Ravintoketjukunnostus ei yleensä vaadi ympäristölupaa
- D.8. Eri pyyntimuotojen parhaille apajapaikoille on syytä hankkia tarvittavat kalastusluvut. Mikäli tarvittavia lupia ei saada kaikille apajapaikoille on kalastuspainetta lisättävä muilla alueilla ja pyyntimenetelmillä mahdollisuuksien mukaan. Apajapaikat on tarvittaessa raivattava raivausnuotalla tai liiallisen vesikasvillisuuden niitolla.
- E.9. Ravintoketjukunnostusten kustannukset ovat olleet 30 – 760 € hehtaarilta vuodessa. Talkootyön merkitys kokonaiskustannuksiin voi olla suuri.
- E.10. Kalastuksenhoitomaksuvaroja voidaan osoittaa kalaistutusten sijaan teho- ja hoitokalastuksen kustannusten kattamiseen.
- F.11. Hoitokalastuksen välineet kannattanee kalastuskunnan hankkia itselleen työn pitkäjänteisyyden vuoksi.
- G.12. Alueen asukkaat pitävät ravintoverkkokunnostusta yleensä varsin hyvänä ja luonnonmukaisena menetelmänä järven kunnostamiseksi. Kuitenkin kalastuskunnan edustajilla ja muilla ranta-asukkailla voi olla erilainen mielipide tehokalastuksen tarpeesta ja soveltuvista kalastusmenetelmistä. Esimerkkejä tällaisista ristiriidoista on esiintynyt hyvien siika-, muikku- ja erityisesti kuhajärvien tehokalastusten yhteydessä.
- G.13. Järven petokalaistutusten myötä järven virkistyskäyttöarvoa voidaan kohentaa ja samalla luoda edellytyksiä luonto- ja kalastusmatkailulle.
- G.14. Talkootyönä ravintoketjukunnostus voi lisätä ihmisten yhteenkuuluvuutta sekä tietoisuutta "kotijärvestä".

Fosforin kemiallinen saostus

Fosforin kemiallisessa saostamisessa veden liukoinen fosfori saostetaan ja laskeutetaan kemikaalien avulla pohjasedimenttiin sekä toisaalta lisätään sedimentin fosforinsitomiskykyä (Oravainen 2005). Fosforin kemiallinen saostus on rehevyyttä vähentäviä kunnostusmenetelmiä (C).

C.1. Järven vesimassassa kiertävän fosforimäärän vähentäminen (++)

Mikäli ulkoisen kuormituksen vähentäminen järven luontaisen sietokyvyn alapuolelle ei ole alentunut järven rehevyyttä toivotulla tavalla, tällöin fosforin poistaminen järven kierrosta on perusteltua. Fosforin kemiallinen saostaminen vaikuttaa sisäisen kuormituksen vapautusmekanismeista pääasiassa diffuusioon. Vaikutukset ilmenevät parhaiten, kun sedimentin pinnassa vallitsevat hapelliset olosuhteet.

Fosforin kemiallisen saostuksen suunnittelun ja mitoituksen teknisiä (D), taloudellisia (E) ja ylläpidon (F) sekä asukaslähtöisiä (G) valintaperusteita:

D.1 Yleisimmin käytettyjä kemikaaleja ovat rauta- ja alumiinisulolat.

Kemikaalin annostus määritetään järviakohtaisesti veden laadun perusteella. Tyypillinen rautasuola-annostus on 10 g m^{-3} . Veden puskurikyvystä riippuen tyypillinen alumiinisulola-annostus on $10 - 100 \text{ g m}^{-3}$.

D.2 Järven laskennallinen viipymä menetelmää käytettäessä tulisi olla yli 1 vuosi.

D.3 Kemiallinen saostus vaatii usein ympäristöluvan.

E.4 Järveen suunnitellun kemikaalimäärän perusteella voidaan kemikaalin toimittajilta pyytää tarjoukset. Kemikaalin hinnan lisäksi rahti- ja levityskustannukset ovat merkittävä osa kokonaiskustannuksista ja siksi järviakohtaisissa kemikaalitarjouksissa voi olla suuriakin eroja. Soveltuvaa kemikaalinlevityskalustoa on eri urakoitsijoilla. Pienille alueille on mahdollista levittää kemikaali myös omana talkootyönä, lähinnä kevättalvella jään päälle.

E.5 Menetelmän kustannukset on ollut noin 250 - 300 € kemikaali tonnia kohden.

F.6 Kemikaalikäsittelyn jälkeen järven hapetus ja/tai biomanipulaatio ovat usein suositeltavia jälkihoitomenetelmiä saavutetun tilan ylläpitämiseksi.

F.7 Fosforin kemiallinen saostaminen on kokemusten mukaan uusittava 3-5 vuoden kuluttua.

G.8 Fosforin kemiallinen saostaminen herättää kunnostusmenetelmänä yleensä vilkasta keskustelua alueen ihmisissä. Ihmisillä on kemikaalikäsittelyyn liittyviä ennakkokäsityksiä ja -kysymyksiä; vapautuuko saostuskemikaalista eri olosuhteissa eliöstölle,

kalastolle, vesikasveille tai vedenlaadulle vaarallisia yhdisteitä? Onko hyödyt haittoja suuremmat ?

Alusveden poistaminen sekä järven veden laimentaminen ja huuhteleminen

Järven poistovirtaama voidaan joko osittain tai kokonaan ottaa järven pohjanläheisestä vesikerroksesta eli ns. alusvedestä. Tällöin ravinteiden poistumat järvestä kasvavat ja pohjanläheisten vesikerrosten happitilanne paranee (Ulvi 2005).

Järven laimentamisessa ja huuhtelemissa järveen johdetaan lisävettä. Lisäveden määrästä riippuen järveden ravinnepitoisuuksia joko laimennetaan tai ravinteikas vesi huuhdellaan järven luusuan kautta alapuoliseen vesistöön. Järven viipymän ollessa päiviä kyseessä on huuhteleminen, muulloin laimentaminen (Lappalainen 1990b).

Näille menetelmille soveltuvia olosuhteita on harvoin ja siksi niitä ovat viime vuosina käytetty Suomessa vähän. Menetelmillä voidaan hyvissä olosuhteissa alentaa järven rehevyyttä seuraavien tavoitteiden (valintaperuste C) mukaisesti.

C.1. Järvessä kiertävän fosforimäärän vähentäminen (+).

Ulkoisen kuormituksen vähentäminen järven luontaisen sietokyvyn alapuolelle ei ole alentanut järven rehevyyttä toivotulla tavalla, jolloin fosforin poistaminen järven kierrosta on perusteltua. Menetelmät vaikuttavat sisäisen kuormituksen vapautusmekanismeista diffuusioon sekä kaasu- ja lämpötilakonvektioon.

C.2. Järven happitalouden parantaminen. (+) .

Alusveden poistamisella on järven kerrostuneisuuden aikana järven happitaloutta parantava merkitys, koska vähähappinen ja yleensäkin heikkolaatuinen vesi poistuu järvestä.

Alusveden poistamisen sekä järven laimentamisen tai huuhtelemisen suunnitteluun ja mitoittamiseen liittyviä teknisiä (D) ja taloudellisia (E) sekä ylläpitoa (F) ja asukaslähtöisyyttä (G) korostavia valintaperusteita:

D.3. Mikäli laimentamalla, huuhtomalla tai alusvettä juoksuttamalla halutaan köyhdyttää järven sedimentin fosforivarastoa on vaikutus todennäköisesti vähäinen. Menetelmien vaikutusta tulee tarkastella ainetaselaskelmin, sillä pelkkä laimennussuhteen laskeminen ei riitä.

- D.4. Parhaimmillaan menetelmät ovat fosforin sedimentaation lisääntyessä sekä järven happitalouden parantuessa toimenpiteiden vaikutuksesta.
- D.5. Järvestä ulosvirtaava fosforikuorma voi kaksin, jopa kolminkertaistua vedenlaadusta ja vesimäärästä riippuen. Alapuolisen vesistön kuormituksensietokyky on syytä selvittää ennen toimenpiteiden toteuttamista, ettei ongelmaa vain siirretä vesistössä alaspäin. Myös ulosvirtaavan veden puhdistamista kosteikoilla, erityisesti pumppausten yhteydessä on syytä selvittää.
- D.6. Näihin toimenpiteisiin vaaditaan yleensä ympäristölupa.
- E.7. Menetelmät ovat kustannuksiltaan kohtuullisia, mikäli kiinteitä rakenteita ei tarvitse rakentaa. Muutoin kustannukset ovat hyvin tapauskohtaisia.
- E.8. Mikäli vettä joudutaan pumppaamaan pitkään, nousevat käyttökustannukset korkeiksi.
- F.9. Kunnostustoimien tukena ja erityisesti jatkohoitona suositellaan hapetusta sekä biomanipulaatiota.
- G.10. Menetelmiä pidetään yleisesti varsin soveliaina kunnostusmenetelminä, joskin alapuoliseen vesistöön kohdistuva lisäkuormitus on herättänyt keskustelua ja epävarmuutta menetelmiin liittyen.
- G.11. Työnaikana järven jäillä liikkuminen voi vaikeutua, erityisesti huuhtelemista ja laimentamista käytettäessä.

Ruoppaus

Järven rehevyyttä vähentävissä ruoppauksissa pohjasedimenttiä poistetaan ja läjitetään haluttuun paikkaan. Ruoppauksella lisätään tällöin järven vesisyvyyyttä ja –tilavuutta sekä vähennetään ravinkiertoa veden ja sedimentin välillä. Ruoppauksella voi olla monia erityyppisiä tavoitteita, jotka kuitenkin pyrkivät lisäämään rehevöityneen järven käyttökelpoisuutta (valintaperusteet C) (Viinikala ym. 2005).

- C.1. Huonolaatuisen sedimentin poistaminen (++).
- Sedimentti on järven fosforivarasto ja sen poistaminen vaikuttaa oleellisesti järven fosforitasapainoon. Lisäksi sedimentin kiintoaine on pääosin orgaanista alkuperään, jolloin sen hajoaminen kuluttaa järven happivaroja. Huonolaatuisen sedimentin poisto on järven rehevyydestason alentamista ja se vaikuttaa sisäisen kuormituksen vapautumismekanismeista diffuusioon, kaasukonvektioon sekä tuulen aiheuttamaan resuspensioon.

C.2. Pilaantuneen sedimentin poisto (++)

Järven sedimentistä voidaan poistaa vesiekosysteemille vaarallisia tai haitallisia aineita, kuten vesipolitiikan puitedirektiivissä mainittuja prioriteettiaineita. Näiden yhdisteiden esiintyminen suomalaisten järvien sedimenteissä on kuitenkin vähäistä.

C.3. Järven vesisyvyyden lisääminen (++)

Järven virkistyskäytöllisistä tavoitteista lähtevä järven syventäminen sekä liiallisen vesikasvillisuuden, juuristoa myöten tehtävä, poistaminen ruoppaamalla on perusteltua. Ruoppaus voi olla myös mökki- tai uimarannan sekä veneväylän aukaisua. Koko järven ruoppaus on harvinaista. Ruoppaus kohdistetaan alueisiin, joilla pohjalietteestä tai tiiviistä vesikasvillisuudesta on erityistä haittaa.

Ruoppauksen suunnitteluun ja mitoittamiseen liittyviä teknisiä (D) ja taloudellisia (E) sekä ylläpitoa (F) ja asukaslähtöisyyttä (G) korostavia valintaperusteita:

D.4. Ruoppauksen suunnittelun yhteydessä määritetään ruopattava alue, sedimenttikerroksen paksuus ja laatu sekä työhön soveltuva ja saatavilla oleva kalusto.

D.5. Ruopattava järvi on yleensä matala. Ruopattava lietekerros on yleensä 40 - 100 cm.

D.6. Ruoppausmassojen läjittäminen sekä erityisesti niiden mahdollinen hyötykäyttö on suunniteltava yksityiskohtaisesti. Imuruoppauksen paluuviesien puhdistuksessa suositellaan käytettäväksi saostuskemikaaleja.

D.7. Ruoppaus tarvitsee yleensä ympäristöluvan, johon myös työnaikaiset haitat ja ympäristövaikutukset on arvioitava.

E.8. Ruoppaustyön kustannukset pinta-alayksikköä kohti ovat yleensä melko korkeat, joskin melko hyvin ennalta laskettavissa. Ruoppaus vaatii kuitenkin asiantuntevan kustannussuunnittelun.

E.9. Jäältä suoritettavan ruoppauksen kustannukset ovat 13 400 - 20 200 € ha⁻¹, rannalta tehtävän ruoppauksen 5 000 - 8 400 € ha⁻¹ ja imuruoppauksen 6 700 - 16 800 € ha⁻¹.

F.10. Ruoppausta voidaan tukea muilla kunnostusmenetelmillä, kuten hapetus ja biomanipulaatio) Lisäksi on varauduttava ulkoisen kuormituksen vähentämiseen.

G.11. Ruoppausta pidetään ranta-asukkaiden piirissä ”lopullisena ratkaisuna” järven ongelmiin. Vallalla on käsitys järven pohjan puhdistamisesta ”kaikesta sedimentistä”. Käytännössä on mahdollista poistaa vain noin 40 - 100 cm kerros pintasedimenttiä, mikä

on yleensä 20 - 40 % rehevän järven koko sedimenttikerroksen paksuudesta, joten ”lopullisesta ratkaisusta” ei voida puhua.

G.12. Ruoppausmassojen läjittäminen

Ruoppausmassojen läjittämällä voidaan lisätä rantapeltöjen kuivavaraa sekä toteuttaa muotoilun yhteydessä suojakaistan rakentamisen pellon ja järven väliin. Toimet lisäävät rantapellon viljeltävyyttä sekä parantavat vesiensuojelua. Ruoppausmassojen sijoittaminen ja maisemointi ovat niitä kysymyksiä, mitkä herättävät lähialueen asukkaissa eniten mielenkiintoa ja mahdollista hankkeen vastustusta.

- G.13. Ruoppauksen työnaikaiset kielteiset vaikutukset järven virkistyskäytölle sekä menetelmän korkeat kustannukset aiheuttavat keskustelua ruoppauksen laajuudesta sekä sopivuudesta kotijärven kunnostamiseen.

Vedenpinnan nostaminen sekä vedenkorkeuden säännöstely

Järven vedenpinnan nostossa joko palautetaan aiemmin lasketun järven luontainen vedenkorkeus tai nostetaan patorakentein vedenpinnan korkeutta. Usein vedenpintaa nostamalla tavoitellaan järven parempaa virkistyskäyttöarvoa, mutta myös umpeenkasvun ja rehevöitymisen hillitseminen ovat sopivia tavoitteita (valintaperusteet C) (Lakso 2005).

Säännöstelyllä muutetaan järven luontaista vedenpinnan vuosivaihtelua. Säännöstelyhankkeet toteutetaan pääsääntöisesti voimatalouden tai tulvasuojelun ehdoin. Säännöstelyhankkeissa voidaan edistää järven virkistyskäyttöä ja parantaa veden laatua. Näiltä osin säännöstely kytkeytyy rehevien järvien kunnostustoimintaan (valintaperusteet C). Säännöstelyn ekologiset vaikutukset kohdistuvat pääasiassa järven rantavyöhykkeeseen ja erityisesti suljetuilla lahtialueilla säännöstelyn merkitys alueen rehevöitymiskehitykseen on syytä huomioida suunnittelussa. (Keto 2005)

- C.1. Vesitilavuuden lisääminen matalissa järvissä (++).
Erityisesti talvella järven vesitilavuus jää alla kasvaa olennaisesti ja pohjaan asti jäätyvien alueiden määrä vähenee.
- C.2. Vedenlaadun parantaminen matalissa järvissä (+).
Vähentämällä kesällä tuuliresuspensiolle herkkiä alueita sekä kasvattamalla järven happivarantoa talviaikaista hapenkulutusta vastaan.
- C.3. Järven umpeenkasvun estäminen tai rajoittaminen (++).
- C.4. Rantojen kulumisen ehkäiseminen säännöstelyä muuttamalla (+)
Erityisesti kesäveden korkeuden säännöstely parantaa järven virkistyskäyttöä. Säännöstelytoimenpitein hoidetaan järven virkistyskäytön kannalta mahdollisimman sopiva vedenkorkeus.
- C.5. Lasketun järven luonnollisen vedenpinnan palauttaminen (++).

Vedenpinnan nostamisen sekä vedenkorkeuden säännöstelyn suunnitteluun ja mitoittamiseen liittyviä teknisiä (D) ja taloudellisia (E) sekä ylläpitoa (F) ja asukaslähtöisyyttä (G) korostavia valintaperusteita:

- D.6. Yleisin vedenpinnan nostokorkeus on noin 0,5 m. Uimakelpoisen järven vesisyvyys on 1,5 - 2,0 m, veneilyyn tarvittava vesisyvyys on minimissään 0,5 m ja vesikasvien umpeenkasvua rajoittaa 1 - 2 m vesisyvyys veden väristä riippuen. Vedenkorkeuden saavuttaminen edellyttää säännöstelylaskelmin varmistettua järven vesitasetta.
- D.7. Vedenpintaa nostetaan tai vedenkorkeutta säännöstellään pohjapadolla tai säännöstelypadolla, joiden tekninen suunnittelu ja toteutus vaatii ammattitaitoa. Vedenpinnan nostosta aiheutuvien alavien rantojen vettyminen on estettävissä rantapenkerein ja pumpupaamoilla. Patorakenteiden yhteyteen tulee toteuttaa kalaporras sekä veneensiirtopaikan rakentamismahdollisuus tarpeen mukaan.
- D.8. Säännöstelyn ekologiset vaikutukset kohdistuvat rantavyöhykkeen eliöyhteisöihin eli ranta- ja vesikasvillisuuteen, rantaeläinplanktoniin, pohjaeläimiin sekä eräisiin kalalajeihin
- D.9. Vedenkorkeuden nosto- sekä säännöstelyhankkeet tarvitsevat ympäristöluvan. Erityisesti rantakiinteistöille sekä metsä- ja maataloudelle aiheutuvat haitat tulee selvittää tilakohtaisesti.
- E.10. Vedenpinnan nosto ja säännöstelyhankkeista on laadittava asiantuntevat, hankekohtaiset kustannusarviot.
- E.11. Kustannukset riippuvat mm. mahdollisten rantapengerrysten ja pumppuasemien rakentamistarpeesta. Pohjapatojen rakentaminen maksaa yleensä 8 500 - 50 000 €.
- F.12. Kiinteät rakenteet vaativat ylläpitoa, mikä on tapauskohtaisesti arvioitava erikseen
- G.13. Sopiva vedenkorkeus?

Vedenpinnan nosto sekä vedenkorkeuden säännöstely vaikuttavat rantarakentamiseen, ranta-alueiden maankäyttöön sekä rannoilla olevien kaivojen vedenkorkeuteen. Sopivasta vedenkorkeudesta käytävässä keskustelussa on usein eriäviä mielipiteitä ja tavoitteita. Yhteisten neuvottelujen ja eri näkökohdat huomioimalla päädytään usein hyväksyttävään lopputulokseen.

Vesikasvien niitto

Vesikasvillisuuden lisääntyminen ja umpeenkasvu kuuluvat vesistöjen luontaiseen kehitykseen ja sitä tapahtuu kaikissa järvissä. Vesikasvien niiton tavoitteena on lähinnä parantaa järven virkistys-

ja maisema-arvoja (valintaperuste C). Vesikasvien haitallinen lisääntyminen onkin usein seurausta järven rehevöitymisestä kuin syy rehevöitymiseen (Kääriäinen & Rajala 2005).

C.1. Järven umpeenkasvun estäminen tai rajoittaminen (++)

Vesikasvien poisto lisää ranta-alueen eroosioherkkyyttä, mikä puolestaan voi vähentää osaltaan umpeenkasvua ja rantojen soistumista. Vesikasvien poiston tavoitteena tulee kuitenkin olla haitallisen vesikasvillisuuden vähentäminen, ei kaikkien kasvien poistaminen.

C.2. Lintujärven avovesipinnan muodostaminen (++)

C.3 Teho- ja hoitokalastuksen apajapaikkojen raivaus (++)

Vesikasvien niiton suunnitteluun ja mitoittamiseen liittyviä teknisiä (D) ja taloudellisia (E) sekä ylläpitoa (F) ja asukaslähtöisyyttä (G) korostavia valintaperusteita:

D.4. Vesikasvien niitto voidaan toteuttaa talkootyönä. Useissa ympäristökeskuksissa, kunnissa tai kalastuskunnissa on niittokoneita, joita talkooryhmät voivat vuokrata. Vallalla on myös käytäntö, jolloin niiton tekee ammattilainen ja talkooväki kerää niitetyt vesikasvit.

D.5. Niitettyjen vesikasvien poistaminen järvestä on hankkeen työläin vaihe. Leikkuujäte voidaan kompostoida tai hyödyntää joskus karjanrehuna.

D.6. Paras ajankohta niitolle on heinäkuun puolivälistä elokuun puoliväliin. Usein niitto uusitaan vähintään vuosittain 2-5 vuoden ajan.

D.7 Vesikasvien niittoon tarvitaan vesialueen omistajan lupa.

D.8 Vesikasvien niittoa suunnitellessa on selvitettävän käytettävän niittokoneen soveltuvuus järven kasvustoon sekä mahdollisesti aiheutuvien haittojen minimoiminen.

D.9 Vesikasveilla on myös vesiluontoa parantavia ominaisuuksia kuten valumavesien rinteiden pidättäminen ja rantaeroosion hillitseminen. Lisäksi vesikasvustot ovat hyviä kasvu- ja suojapaikkoja eläinplanktonille, kaloille ja vesilinnuille. Nämä tekijät on myös huomioitava vesikasvien niittoa suunniteltaessa.

E.10. Vesikasvien niitto talkootyönä tehtynä on edullinen kunnostusmenetelmä.

E.11. Vesikasvien poiston kustannukset ovat keskimäärin 250 - 400 € ha⁻¹vuodessa.

F.12. Niitto voidaan joutua uusimaan useita kertoja niiton jälkeisinä vuosina pysyvän vaikutuksen aikaansaamiseksi.

G.13 "Oikeaa tekemistä"

Talkootyönä tehtävä vesikasvien niitto koetaan usein ”oikeaksi tekemiseksi” kotijärven hyväksi, lisäähän se järven virkistyskäyttöarvoa ja estää umpeenkasvua. Toisaalta

vesikasvien niitto voi lisätä järven kasviplankton biomassaa, esimerkiksi sinilevää. Tällaisissa tapauksissa rannanomistajien mielipiteet voivat jakautua.

Järven tilapäinen kuivattaminen

Järven tilapäinen kuivattaminen on tutkimus- ja kehittämisasteella oleva kunnostusmenetelmä, josta on kokemuksia muutamista kohteista lähinnä Pohjois-Pohjanmaalla. Menetelmässä järvi tyhjenetään lähes kokonaan, jolloin lähinnä matalan järven pehmeä pohjasedimentti tiivistyy ja kiinteytyy kuivumisen ja jäätyminen vuoksi (valintaperuste C). Järven tilapäinen kuivattamisen yhteydessä pohjan ruoppaaminen ja rantojen kunnostaminen voidaan tehdä kuivatyönä (Lehmikangas 2005).

Järven kuivattamisen tuloksellisuudesta ja erityisesti toimenpiteen vaikutusten pysyvyydestä tulisi saada laaja-alaista seurantatietoa esimerkiksi Utajärven Särkijärven kohteesta.

- C.1. Vesitilavuuden lisääminen ja sedimentin tiivistäminen (+)
Erityisesti tuuliresuspensioherkän sedimentin tiivistäminen matalissa järvissä.
- C.2. Sisäisen kuormituksen vähentäminen (+)
Sedimentin tiivistyminen sekä hapellinen orgaanisen aineksen hajoaminen vähentävät sedimentin ravinnevirtaa (diffuusio ja kaasukonvektio) yläpuoliseen veteen

Järven tilapäisen kuivattamisen suunnitteluun ja mitoittamiseen liittyviä teknisiä (D) ja taloudellisia (E) sekä ylläpitoa (F) ja asukaslähtöisyyttä (G) korostavia valintaperusteita:

- D.3. Järven kuivattamiseksi tarvitaan järven luusuaan patorakenteet sekä mahdollisesti pumppaamo, joilla järven tyhjentäminen mahdollista. Lisäksi järven pohjaan joudutaan kaivamaan nk. kuivatusojasto.
- D.4. Jos tulovirtaama järveen on suuri, pumppaaminen on teknisesti hankalaa ja kallista.
- D.5. Pohjavesien purkautuminen järveen haittaa menetelmän käytettävyyttä.
- D.6. Menetelmällä on ekologisia vaikutuksia kalastoon, pohjaeläimiin, kasvi- ja eläinplanktoniin sekä vesikasveihin. Niiden palautumisesta järven täytön jälkeen ei vielä ole riittävästi tutkittua tietoa.
- D.7. Menetelmän pitkäaikaisvaikutuksista, eli sedimentin löyhyyden palautumisesta ei ole vielä tutkittua tietoa.

- D.8. Järven tilapäinen kuivattaminen vaatii ympäristöluvan.
- E.9. Kustannukset ovat tapauskohtaisia ja riippuvat mm. kohteen koosta, kuivattamismahdollisuuksista ja kunnostustoimenpiteiden laajuudesta.
- F.10. Mikäli veden poisjohtamisen rakenteet tehdään pysyviksi, voidaan järven tilapäinen kuivattaminen uusia tarvittaessa pienin kustannuksin.
- G.11. Järven tilapäinen kuivattaminen vaikuttaa ranta-asukkaiden viihtyvyyteen sekä järven käyttöön työn aikana. Esimerkiksi Utajärven Särkijäven koekohteen asukailta tullessa palautteessa tämä työnaikainen käyttöhaitta koettiin vähäisenä, kun tulossa oli parempi ja käyttökelpoisempi järvi. Samalla voitiin kunnostaa rantoja, kun järvi oli kuivana.

Järven pohjan kemikaalipöyhintä

Järven pohjan kemikaalipöyhintä on tutkimus- ja kehittämisasteella oleva kunnostusmenetelmä. Menetelmässä järven sedimenttiin pöyhitään kemikaalia Vesi-Eko Oy:n kehittämän harjakoneen avulla. Kemikaalin lisäyksellä pyritään parantamaan sedimentin fosforinsidontakykyä ja alentamaan sedimentistä tulevaa kuormitusta (valintaperuste C). Järven pohjan kemikaalipöyhinnän jälkeen on suositeltavaa jatkaa kunnostustoimintaa saavutettua tilaa ylläpitävillä kunnostusmenetelmillä, kuten hapetuksella (Saarijärvi 2005).

- C.1. Sisäisen kuormituksen vähentäminen pöyhinnällä (\pm).
Pohjan pöyhinnän ideana on sisäisen kuormituksen vähentäminen pohjasedimentin kaasukonvektiota vähentämällä sekä orgaanisen aineksen hapettoman hajotuksen kiihdyttäminen. Pöyhintä soveltuu kohteisiin, joissa kaasuntuotanto pohjasedimentissä on merkittävää ja kaasukuplinta aiheuttaa selvää veden samentumista sekä yläpuolisen veden ravinnepitoisuuksien lisääntymistä. Koekohteiden tutkimuksissa, esimerkiksi Postilampi, pöyhintä vähensi kaasuntuotantoa hetkellisesti, mutta jo seuraavana kesänä kaasuntuotanto oli pöyhityllä alueella vähintään samalla tai korkeammalla tasolla kuin vertailualueella. Kaasuntuotannon kiihtymisen arvioitiin johtuvan tuoreen, helposti hajoavan orgaanisen aineksen sekoittumisesta ja hautumisesta hapettomaan sedimenttiin. Hapettomissa oloissa tuore orgaaninen aines hajoaa pääosin anaerobisesti ja kiihdyttää sedimentin kaasuntuotantoa, erityisesti metaanin tuotantoa (Huttunen et. al. 1997). Kolme vuotta pöyhintöjen jälkeen käsiteltyjen ja käsittelemättömien alueiden välillä ei

havaittu eroa kaasuntuotannossa. Näin ollen merkittävää helposti hajoavan orgaanisen aineksen vähenemistä ei koekohteen pöyhinnöillä saatu tehty (Saarijärvi 2005).

- C.2. Pohjasedimentin fosforinpidätyskyvyn parantaminen ja sisäisen kuormituksen vähentäminen kemikaalipöyhinnällä (+).

Järven pohjan pöyhinnän suunnitteluun ja mitoittamiseen liittyviä teknisiä (D) ja taloudellisia (E) sekä ylläpitoa (F) ja asukaslähtöisyyttä (G) korostavia valintaperusteita:

- D.3. Pienehköjen ja alle 4 m syvyisten järvien kunnostukseen soveltuva menetelmä sekoittaa kemikaalia sedimentin pintaan, 10 - 20 cm paksuiseen kerrokseen.
- D.4. Kemikaalikäsittelyn yhteydessä riittää yksi pöyhintäkerta.
- D.5. Kemikaalipöyhintätyön aikana veden laatu heikkenee hetkellisesti. Menetelmän vaikuttavuuteen ja tuloksellisuuteen liittyvät tutkimukset ovat vielä kesken. Esimerkiksi Kuusamon Nälkämönlammen kemikaalipöyhinnän tuloksellisuutta on seurattu vuodesta 2003 lähtien.
- D.6. Kemikaalipöyhintä tarvitsee yleensä ympäristöluvan tai rannanomistajien suostumuksen.
- E.7. Kemikaalipöyhinnän kustannukset ovat levitystyön osalta noin 400 € ha⁻¹ ja kemikaalien osalta 1 000 - 2 000 € ha⁻¹.
- F.8. Sedimenttikäsittelyn jälkeen kunnostamista voidaan jatkaa esimerkiksi biomanipulaation, hapetuksen tai veden kemikaalikäsittelyn avulla.
- G.9. Kemikaalipöyhintä herättää keskustelua ranta-asukkaiden parissa. Keskustelu voi joillakin järvillä vaikuttaa menetelmän käyttöön kielteisesti.

Sedimentin peittäminen ja inaktiointi savi- tai kipsikäsittelyllä

Sedimentin peittäminen ja inaktiointi eri menetelmin ovat tutkimus- ja kehittämisasteella olevia kunnostusmenetelmiä (Valintaperusteet C).

Savipeittomenetelmässä 5 - 10 cm savikerroksella eristetään sedimentti yläpuolisesta vedestä. Tiivis savikerros estää sedimentissä muodostuneiden pelkistyneiden aineiden diffuusiota ja samalla orgaaninen aines hajoaa hitaasti anaerobisesti. Kemikaalien lisäyksellä hajoamistuotteet saadaan stabiileiksi ja fosforin sitoutuminen varmistettua (Pekkarinen 2005).

Kipsistabiloinnissa käytettävä rautakipsi on teollisuuden oheistuote, jonka käyttö järven kunnostuksessa on uusi innovaatio. Kipsistabilointi on lähinnä muita järvenkunnostusmenetelmiä täydentävä menetelmä. Menetelmä sopii vain suhteellisen syviin, pienehköihin järviin, joiden vedenlaadun ongelmat johtuvat alusveden hapettomuuden aiheuttamasta sisäisestä kuormituksesta (Varjo ja Salonen 2005).

C.1. Järven sisäisen kuormituksen vähentäminen (+).

Järven sisäisen kuormituksen vähentäminen diffuusiota, kaasukonvektiota, bioturbautumista sekä tuuliresuspensioherkkyyttä vähentämällä.

Sedimentin peittämisen ja inaktivoinnin suunnitteluun ja mitoittamiseen liittyviä teknisiä (D) ja taloudellisia (E) sekä ylläpitoa (F) ja asukaslähtöisyyttä (G) korostavia valintaperusteita:

- D.2. Käsittelyaineen annostus tai kerrospaksuus on varmistettava pienoismallikokein, jotta tavoitteeseen päästään. Pienoismallikokeet tehdään osassa järveä esimerkiksi pohjaan asti ulottuvien altain.
- D.3. Sedimentin savipeitto on yleensä paksuudeltaan 5 - 10 cm. Tarvittava savi otetaan samasta järvestä mahdollisimman läheltä peitettävää aluetta. Täydentäviä hoitokeinoja ovat tehokalastus ja alusveden hapetus.
- D.4. Sedimentin kipsaus on muita kunnostusmenetelmiä täydentävä, vaikutukseltaan pitkäaikainen menetelmä pienehköihin ja syviin järviin. Kipsiä annostellaan 0,5 - 1 cm paksuinen kerros. Käsiteltävä alue on rajattava ja sille on suoritettava sedimenttitutkimus vaikutusten ennakoimiseksi.
- D.5. Käsittelyalueen koko ratkaisee käytettävän tekniikan, joskin osittainen talkootyökin lienee mahdollista.
- D.6. Sedimentin peitto tai stabilointi tarvitsee yleensä ympäristöluvan.
- E.7. Savipeiton kustannukset määräytyvät lähinnä käytetyistä saven siirtotekniikoista, joita ovat esimerkiksi massapumppaus ja imuruoppaus.
- E.8. Kipsiä tarvitaan keskimäärin 50 t/ha, jolloin kustannukset ovat noin 2 500 €/ha. Lisäksi kustannuksia aiheuttavat kipsin kuljetus ja levitys sekä sedimenttitutkimuksesta aiheutuvat kulut (1 000 - 4 000 €).

Liite 3. Leväsoppisen kunnostusmenetelmävaihtoehtojen arviointi.

Kunnostusmenetelmä	A	B	C	D	E	F	G	Arvio	Perustelu
Hapetus	+	+	++	+	+	+		+	- estää happikatoja ja vähentää rehevyyttä - tarvitsee ympärivuotisen hapetuksen - kustannukset ovat noin 1 000 €/a ⁻¹
Ravintoketjukurkennostus	+	+	++	+	++	+		+	- vähentää sinilevähaittoja ja sis. kuormitusta - apajapaikkoja on raivattava (n. 1 000 €) - tehokalastus; 350 kg a ⁻¹ (alle 2 000 €/a ⁻¹) - hoitokalastus; 120 kg a ⁻¹ (alle 500 €/a ⁻¹)
Fosforin kemiallinen saostus	+ / L	+ / L	++	+	+	+		+ / L	- vähentää järvestä kiertävän fosforin määrää - järvi on luontaisesti rehevä - vaikutus on melko lyhytaikainen (veden viipymä: 0,5 a) - annostus määritettävä astiakokein - alumiinikloridin tarve (460 - 4 600 kg) - kokonaiskustannukset ovat n. 5 000 €, josta kemikaalikustannuksen osuus on n. 1 400 €
Alusveden poistaminen	+	+	+	-	-			-	- ei vähennä sisäistä kuormitusta - ei paranna juurikaan järven happitilannetta - alapuoliseen vesistöön aiheutuu kuormitusta
Ruoppaus	L	+ / L	++	-	-			-	- sedimenttiä on liikaa poistettavaksi - sedimentti on syvemmällä myös huonolaatuista - ruoppausmassojen läjitys Natura-alueelle ongelmallista ?
Vedenpinnan nostaminen	L	+	+	-				-	- ei paranna vedenlaatua - mataluus ei ole ongelma
Vesikasvien niitto	+	+	+	+	+	+		+	- mahdollisen teho- ja hoitokalastuksen apajapaikkojen raivaaminen - hyödynsaajien sitoutuminen talkootyöhön on epävarmaa ? - kustannukset ovat alle 1 000 €/niittokerta
Järven tilapäinen kuivattaminen	L	L	+	-				-	- järvi on liian syvä (max. 6 m) - järvestä on suora yhteys pohjaveteen
Järven pohjan kemikaalipöyhintä	L	L	+	+	+	+		+ / L	- sedimentistä kuplii kaasuja - Järvi olisi tutkimuksellinen kokeilukohde - kemikaalilisäyksestä sedimenttiin on alustavasti havaittu olevan hyötyä rehevissä järvissä
Sedimentin stabilointi (kipsillä)	L	L	+	-	?	+		-	- vähentää fosforin vapautumista sedimentistä - pohjaveden purkautuminen järveen heikentää sedimentin peittämisen toimivuutta

Liite 4. Iso-Syväjärven kunnostusmenetelmävaihtoehtojen arviointi.

Kunnostusmenetelmä	A	B	C	D	E	F	G	Arvio	Perustelu
Hapetus	+	+	++	+	+	+		+	- estää happikatoja ja vähentää rehevyyttä - hapetustarvetta on lähinnä talvisin - kustannukset ovat alle 2 400 € a ⁻¹
Ravintoketjukurkennostus	+	+	++	+	++	+		+	- vähentää sinilevähaittoja ja sisäistä kuormitusta - apajapaikkoja on raivattava (n. 2 - 4 000 €) - koekalastuksessa oli saaliista 52 % särkiä - tehokalastus; 1 100 kg a ⁻¹ (alle 9 000 € a ⁻¹) - hoitokalastus; 230 kg a ⁻¹ (alle 1 500 € a ⁻¹) - hoidon aikana suositellaan petokalaistutuksia - sitoutuminen talkootyöhön epävarmaa ?
Fosforin kemiallinen saostus	+	L	+	L	-			-	- veden fosforitaso on alle 20 µg l ⁻¹ , joten tarvetta ei ole. - liian voimakas toimenpide ongelmien nähtäessä
Alusveden poistaminen	+	+	+	-	-			-	- parantaa syvänteessä talviaikaista happitilannetta - järven luusuassa ei ole pudotusta, joten vesi olisi pumpattava - alapuoliseen vesistöön aiheutuu kuormitusta, sillä Välijossa ei ole tilaa kosteikolle.
Ruoppaus	L	+	L	++	-	-		-	- sedimenttiä on liikaa poistettavaksi - sedimentti on syvemmällä myös huonolaatuista - ruoppausmassojen läjitys Natura-alueelle ongelmallista ?
Vedenpinnan nostaminen	L	+	-	-				-	- ei ole positiivista vaikutusta järven veden laatuun - mataluus ei ole ongelma
Vesikasvien niitto	+	+	++	+	+	+		+	- mahdollisen teho- ja hoitokalastuksen apajapaikkojen raivaaminen - Pikku-Syvä ja Itälahden alueiden niitto edistää virkistyskäyttöä (n. 5 ha) - kustannukset ovat alle 1 500 € / kerta - sitoutuminen talkootyöhön ?
Järven tilapäinen kuivattaminen	L	L	+	-				-	- järvestä on suora yhteys pohjaveteen, joten kuivatus ei onnistune
Järven pohjan kemikaalipöyhintä	L	L	+	-				-	- järvi on menetelmän kannalta liian syvä (max. 13 m) - syvänealue on melko laaja (3,3 ha)
Sedimentin stabilointi (kipsillä)	L	L	+	-	-			-	- vähentää fosforin vapautumista sedimentistä - pohjaveden purkautuminen järveen heikentää sedimentin peittämisen toimivuutta - syvänealue, johon toimenpide kohdennetaan, on laaja (3,3 ha)

Liite 5. Lianjärven kunnostusmenetelmävaihtoehtojen arviointi.

Kunnostusmenetelmä	A	B	C	D	E	F	G	Arvio	Perustelu
Hapetus	+	+	++	+	+	+		+	- estää happikatoja ja vähentää rehevyyttä - hapetustarvetta on talvisin - kustannukset ovat noin 3 000 € a ⁻¹
Ravintoketjukurkennostus	+	+	+ / ?	+	++	+		+	- vähentää sinilevähaittoja - tarve arvioitava koeverkkokalastuksin - apajapaikkoja on raivattava (2 - 4 000 €) - tehokalastus; 1 600 kg a ⁻¹ (alle 12 000 € a ⁻¹) - hoitokalastus; 350 kg a ⁻¹ (alle 1 600 € a ⁻¹) - hoidon aikana suositellaan petokalaistutuksia - sitoutuminen talkootyöhön ?
Fosforin kemiallinen saostus	+ / L	+ / L	-					-	- veden fosforitaso on alle 20 µg l ⁻¹ , joten tarvetta ei ole. - liian voimakas toimenpide ongelmiin nähden
Alusveden poistaminen	+	+	+	-	-			-	- parantaa syvänteessä talviaikaista happitilannetta - järvi on syvä ja syvänte on kaukana luusuaista - jyrkkien rantojen vuoksi on käytettävä luusuaa purkukohtana - kosteikon rakentaminen Lianojan varteen alapuolisen järven vesiensuojelun lienee mahdollista
Ruoppaus	L	+ / L	++	-	-			-	- sedimenttiä on liikaa poistettavaksi - sedimentti on syvemmällä myös huonolaatuista - liian järeä toimenpiden ongelmiin verrattuna - ruoppausmassojen läjitys Natura-alueelle ongelmallista ?
Vedenpinnan nostaminen	L	+	-	-				-	- ei ole positiivista vaikutusta järven veden laatuun - mataluus ei ole ongelma
Vesikasvien niitto	L	+	-					-	- vesikasvillisuus ei ole ongelma järvessä
Järven tilapäinen kuivattaminen	L	L	+	-				-	- järvestä on suora yhteys pohjaveteen
Järven pohjan kemikaalipöyhintä	L	L	-	-				-	- ei ole tarvetta sedimentin stabiloinnille
Sedimentin stabilointi (kipsillä)	L	L	-	-	-			-	- ei ole tarvetta sedimentin stabiloinnille

Liite 6. Tulijärven ja Kotalammen kunnostusmenetelmävaihtoehtojen arviointi.

Kunnostusmenetelmä	A	B	C	D	E	F	G	Arvio	Perustelu
Hapetus	+	+	++	++	+	+		+	- estää happikatoja ja vähentää rehevyyttä - hapetustarvetta on pääosin talvisin, mutta mahdollinen kesähapetus on arvioitava erikseen - Kotalampea on hapetettava ympärivuoden - kustannukset ovat noin 5 000 € a ⁻¹
Ravintoketjukurkennostus	+	+	+	+	++	+		+	- vähentää sinilevähaittoja - Tulijärvi ja Kotalammi on kalastettava yhdessä - apajapaikkoja on raivattava (n. 2 - 4 000 €) - koekalastussaaliista oli lähes 70 % särkiä - tehokalastus; 2 700 kg a ⁻¹ (alle 20 000 € a ⁻¹) - hoitokalastus; 550 kg a ⁻¹ (alle 2 700 € a ⁻¹) - hoidon aikana suositellaan petokalaistutuksia - sitoutuminen talkootyöhön ?
Fosforin kemiallinen saostus	+ / L	+ / L	++	+/-	+	+/-		+/-	- vähentää järvestä kiertävän fosforin määrää - järvi on luontaisesti rehevä - veden viipymä järvestä on riittävän pitkä (1,5 a) - annostus on määritettävä astiakokein - alumiinikloridin tarve (9 000 - 13 000 kg) - kokonaiskustannukset ovat n. 15 000 €, josta kemikaalikustannuksen osuus on n. 8 000 € - hapetus on suositeltava jälkihoitomenetelmä
Alusveden poistaminen	+	+	+	-	-			-	- parantaa syvänteen talven happitilannetta - järvi on syvä ja syvin kohta on kaukana luusuasta - jyrkkien rantojen vuoksi on käytettävä luusuuaa purkukohtana - kosteikon rakentamiselle ei ole tilaa, joten alapuolisten järvien kuormitus lisääntyy
Ruoppaus	L	+ / L	++	+/-	+	+		+/- / L	- sedimenttiä on liikaa poistettavaksi - sedimentti on syvemmällä myös huonolaatuista - laajoja ruoppauksia ei voi tehdä, mutta matalien lahtialueiden ja rantojen siistiminen ruoppaamalla voi olla mahdollista - Kotasalmen (0,05 - 0,1 ha) ruoppauksen kustannukset ovat noin 1 - 2 000 € riippuen työtavasta. - Kotasalmen ruoppaus parantaa veden virtausta - ruoppausmassojen läjitys Natura-alueella ongelmallista ?
Vedenpinnan nostaminen	L	+	-	-				-	- ei ole positiivista vaikutusta järven veden laatuun - mataluus ei ole ongelma
Vesikasvien niitto	L	+	++	+	+	+		+	- lahtialueet, oijen suut ja Kotasalmi ovat lähes umpeenkasvaneita - niittokustannukset ovat n. 2 000 € a ⁻¹ - sitoutuminen talkootyöhön ?
Järven tilapäinen kuivattaminen	L	L	+	-				-	- järvestä on suora yhteys pohjaveteen
Järven pohjan kemikaalipöyhintä	L	L	+	+	+	+/-		+	- sedimentistä kuplii kaasuja - Järvi olisi tutkimuksellinen kokeilukohde - kemikaalilisäyksestä sedimenttiin on alustavasti havaittu olevan hyötyä rehevissä järvissä - kemikaalin annostus on arvioitava astiakokein - Leväsoppisen kanssa yhtäaikaista käsittelyä
Sedimentin stabilointi (kipsillä)	L	L	-	-	-			-	- järvestä on suora yhteys pohjaveteen

Liite 7. Kirvesjärven kunnostusmenetelmävaihtoehtojen arviointi.

Kunnostusmenetelmä	A	B	C	D	E	F	G	Arvio	Perustelu
Hapetus	+	+	++	++	+	+		+	- estää happikatoja ja vähentää rehevyyttä - hapetustarvetta on talvella - kustannukset ovat n. 3 000 € a ⁻¹
Ravintoketjukurkennostus	L	+	++	+	++	+		+	- vähentää sinilevähaittoja - tarve arvioitava koeverkkokalastuksin - apajapaikkoja on raivattava (2 - 4 000 €) - tehokalastus; 1 300 kg a ⁻¹ (alle 10 000 € a ⁻¹) - hoitokalastus; 260 kg a ⁻¹ (alle 1 300 € a ⁻¹) - hoidon aikana suositellaan petokalaistutuksia - sitoutuminen talkootyöhön ?
Fosforin kemiallinen saostus	L	L	+	+	+	+/-		+ / L	- vähentää järvessä kiertävän fosforin määrää - järven veden viipymä on riittävä (5 a) - veden fosforipitoisuuden kehitystä tulee seurata - ainakin nykyisellään liian iso toimenpide ongelmiin verrattuna
Alusveden poistaminen	+	+	+	-	-			-	- ei vähennä sisäistä kuormitusta - parantaa järven happitilannetta - alapuoliseen vesistöön aiheutuu kuormitusta
Ruoppaus	L	L	++	-	-			-	- sedimenttiä on liikaa poistettavaksi - sedimentti on syvemmällä myös huonolaatuista - laaja syvänealue (5 ha) - ruoppausmassojen läjitys Natura-alueelle ongelmallista ?
Vedenpinnan nostaminen	L	+	+	-				-	- ei paranna vedenlaatua - mataluus ei ole ongelma
Vesikasvien niitto	L	+	+/-	+	+	+		+/- L	- mahdollisen teho- ja hoitokalastuksen apaja- paikkojen raivaaminen - sitoutuminen talkootyöhön on epävarmaa ? - vesikasvillisuus ei ole ongelma
Järven tilapäinen kuivattaminen	L	L	+	-				-	- järvi on liian syvä (max. 10 m) - järvestä on suora yhteys pohjaveteen
Järven pohjan kemikaalipöyhintä	L	L	-					-	- ei tarvetta sedimentin stabilointiin
Sedimentin stabilointi (kipsillä)	L	L	+	-	?	+		-	- ei tarvetta sedimentin stabilointiin